

Effekte automatischer Unterstützung auf die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren

Theoretischer und empirischer Beitrag auf dem Weg zur kooperativen Automation

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.) im Fach Psychologie

eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II
der Humboldt-Universität zu Berlin

von Dipl.-Psych. Charlotte Gräfin von Bernstorff (geb. Meyer)

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin:

Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II:

Prof. Dr. Elmar Kulke

Gutachter:

Prof. Dr. Hartmut Wandke

Prof. Dr. Matthias Rötting

Prof. Dr. Frank Flemisch

Tag der Verteidigung: 15.07.2014

Inhalt

1	Einführung: „...Aber den Menschen brauchen wir noch.“ – Was Automation ist, verspricht und bewirkt	1
1.1	Kehrseiten der Automation: Fehler von Operateuren in der Interaktion mit automatischen Systemen	1
1.2	Die Menschen <i>hinter</i> der Automation: Weshalb Entwickler bei der Interaktion zwischen Operateur und Automation berücksichtigt werden müssen.....	3
2.	Hintergrund: Klassische und heutige Ansätze für die stets erneute Frage nach der Funktionsallokation	7
2.1	Wer macht was? Klassische Strategien der Automatisierung	7
2.1.1	Automation aus Gründen technischer Machbarkeit und Kostenersparnis.....	8
2.1.2	Automation zur Vermeidung menschlicher Schwächen und Ergänzung menschlicher Stärken.....	9
2.2	Wie können Mensch und Automation bestmöglich zusammen arbeiten? Heutige Strategie der Automatisierung: Automation als Kooperationspartner	11
2.2.1	Kooperative Automation auf der Grundlage dynamischer Funktionsallokation.....	12
2.2.2	Adaptive und adaptierbare Automation als zwei Konzepte kooperativer Automation.....	15
2.2.3	Implikationen der Diskussion um Ansätze kooperativer Automation für diese Arbeit	22
3.	Von <i>Mensch</i> vs. <i>Maschine</i> hin zu <i>Operateur</i> vs. <i>Entwickler</i> : Das Rahmenprojekt ATEO – Arbeitsteilung Entwickler Operateur	23
3.1	Die Idee: Eine faire Berücksichtigung zweier Rollen in Mensch-Maschine-Systemen.....	24
3.2	Die Vorarbeiten: Von der manuellen zur teilautomatischen Prozessüberwachung und -führung von Operateuren	27
3.3	Die Umsetzung: Ein empirischer Vergleich der Leistung von Operateuren und Entwicklern mithilfe desselben Bezugssystems: Die Socially Augmented Microworld (SAM)	31
4.	Zielstellung dieser Arbeit.....	36
4.1	Theoretischer Beitrag: Klassifikation von Formen der Kooperation anhand von <i>Autorität</i> und <i>Kontrolle</i>	36
4.2	Empirischer Beitrag: Untersuchung zu Auswirkungen einer spezifischen Kooperationsform auf Basis des (technisch erweiterten) ATEO Lab Systems.....	37
5	Konzeptuelle Grundlagen für kooperative Automation – Zentrale Modelle der Mensch-Automation-Interaktion und ein Rahmenmodell für Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation	39
5.1	„Wieviel wird automatisiert?“ – Das Modell der <i>Level of Automation (LOA)</i> von Sheridan und Verplank (1978)	41
5.1.1	Hintergrund und Annahmen des Modells von Sheridan und Verplank (1978).....	41
5.1.2	Bewertung des Modells von Sheridan und Verplank (1978)	42
5.2	„Was wird automatisiert?“ – Das Modell der <i>Types and Levels of Human Interaction with Automation</i> von Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000)	46
5.2.1	Hintergrund und Annahmen des Modells von Parasuraman et al. (2000).....	46
5.2.2	Bewertung des Modells von Parasuraman et al. (2000).....	51

5.3	Das Modell zur dynamischen Funktionsallokation von Wickens und Hollands (2000)	56
5.3.1	Hintergrund und Annahmen des Modells von Wickens & Hollands (2000)	57
5.3.2	Bewertung des Modells von Wickens und Hollands (2000)	60
5.4	Fazit: Zusammenfassung der Beiträge der drei Modelle zu relevanten Fragen dynamischer Funktionsallokation	66
5.5	Kooperation zwischen Mensch und Automation – eine Frage von Autorität und Kontrolle	68
5.5.1	Autorität und Kontrolle als zentrale, jedoch bisher wenig strukturierte Aspekte der Zusammenarbeit von Operateur und Automation	68
5.5.2	Formen der Kooperation von Operateur und Automation	73
5.5.3	Brückenschlag zur Empirie: Theoretische Kooperationsformen als Grundlage für einen iterativen, empirischen Ansatz	81
6.	Fragestellungen und Hypothesen	86
6.1	Fragestellungen	86
6.2	Hypothesen	89
7.	Methodik	97
7.1	Stichprobenbeschreibung	97
7.2	Die Simulationsumgebung	98
7.2.1	Die Socially Augmented Microworld (SAM) – Aufgabe der Navigatoren	100
7.2.2	Das ATEO Master Display – Aufgabe des Operateurs	102
7.2.3	Die Entwicklung der teilautomatischen Variante des ATEO Master Displays	106
7.3	Versuchsdesign	111
7.4	Operationalisierung der Kriterien für die globalen Analysen	112
7.4.1	Zeit	113
7.4.2	Fehler	113
7.4.3	Anstrengung der Navigatoren	114
7.4.4	Workload des Operateurs	114
7.4.5	Situationsbewusstsein des Operateurs	115
7.5	Operationalisierung der Prädiktoren für die globalen Analysen	116
7.5.1	Art der Prozessführung	116
7.5.2	Vorherige Anstrengung der Navigatoren	117
7.5.3	Anzahl von ausgelösten Hinweisen durch den Operateur	118
7.5.4	Anzahl von Eingriffen durch den Operateur	118
7.6	Versuchsablauf	118
8.	Ergebnisse	120
8.1	Datenanalyse	120
8.2	Deskriptive Ergebnisse zur Nutzung der automatischen Unterstützung durch den Operateur	122
8.2.1	Anzahl der Nutzer und Anzahl genutzter Automatikfunktionen	122
8.2.2	Häufigkeit der Nutzung von Automatikfunktionen	123
8.2.3	Kombination von Automatikfunktionen	124
8.2.4	Initiation von Automatikfunktionen	125
8.2.5	Fazit zu Ergebnissen der deskriptiven Analysen	126

8.3 Ergebnisse der globalen Analyse über die manuelle und teilautomatische Bedingung	127
8.3.1 Trackingzeit.....	127
8.3.2 Trackingfehler	129
8.3.3 Anstrengung der Navigatoren	132
8.3.4 Workload.....	134
8.3.5 Situationsbewusstsein	135
8.3.6 Fazit zu Ergebnissen der globalen Analysen	136
8.4 Ergebnisse der Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung	137
8.4.1 Zusammenhänge zwischen Art und Kombination von Automatikfunktionen und Fehlern im Tracking	137
8.4.2 Zusammenhänge zwischen Art der Nutzung von Automatikfunktionen und Fehlern im Tracking.....	138
8.4.3 Fazit zu Ergebnissen der Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung.....	140
9. Diskussion	141
9.1 Handelte es sich um eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation? – Zusammenfassung und Diskussion der empirischen Ergebnisse zum Effekt der automatischen Unterstützung auf die Prozessüberwachungs- und - führungsleistung von Operateuren	141
9.1.1 Hypothesen zur Leistung des Operateurs (H 2.0a und 2.0b).....	143
9.1.2 Hypothese zur Anstrengung der Navigatoren (H 3.0).....	148
9.1.3 Hypothesen zu leistungsrelevanten Zuständen des Operateurs (H 4.0 und 5.0).....	149
9.1.4 Fazit zur Beantwortung der Fragestellung.....	152
9.2 Wurde eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation bereits in der Entwicklungsphase unterstützt?	153
9.3 Wegbereitung für kooperative Automation? – Bewertung des theoretischen und empirischen Beitrags dieser Arbeit	155
9.4 Ausblick	161
Literatur	163
Anlage	184

Tabellen

Tabelle 1	Definitionen adaptiver und adaptierbarer Automation
Tabelle 2	Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation
Tabelle 3a	Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen des Operateurs, Anzahl von Eingriffen des Operateurs) und Kriterium (Trackingzeit)
Tabelle 3b	Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Trackingzeit
Tabelle 4a	Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Trackingfehler)
Tabelle 4b	Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Trackingfehler
Tabelle 5a	Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Anstrengung der Navigatoren)
Tabelle 5b	Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Anstrengung der Navigatoren
Tabelle 6a	Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Workload (Index))
Tabelle 6b	Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Workload (Index)
Tabelle 7a	Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Situationsbewusstsein (Index))
Tabelle 7b	Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Situationsbewusstsein (Index)
Tabelle 8	Interkorrelationen zwischen Initiation der Automation und Leistung, Anstrengung der Navigatoren, Workload sowie Situationsbewusstsein des Operateurs.

Abbildungen

- Abbildung 1 „Levels of Automation in Man-Computer Decision Making for a single elemental decisive step“ (Sheridan & Verplank, 1978, S. 8-17)
- Abbildung 2 Vier-Phasen-Modell der Informationsverarbeitung nach Parasuraman et al. (2000)
- Abbildung 3a Modell dynamischer Funktionsallokation nach Wickens und Hollands (2000)
- Abbildung 3b Modell dynamischer Funktionsallokation nach Wickens und Hollands (2000) (angepasste Darstellung)
- Abbildung 4 Relevante Fragen der dynamischen Funktionsallokation
- Abbildung 5 Assistenz- und Automationsspektrum modifiziert nach Flemisch et al. (2003, 2008, 2012).
- Abbildung 6 Rahmenmodell für Formen der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation in Abhängigkeit von deren Autorität und Kontrolle
- Abbildung 7 Liste der Hypothesen
- Abbildung 8 Aufbau des ATEO Lab Systems
- Abbildung 9a Die Socially Augmented Microworld (SAM)
- Abbildung 9b Das ATEO Master Display (in Anlehnung an Stade, Meyer, Niestroj und Nachtwei (2011a)) zur Überwachung und -führung des kooperativen Trackings durch einen Operateur
- Abbildung 10 Auslösen eines visuellen Hinweises (Hinderniswarnung) durch einen Operateur (nach Schulze, 2012)
- Abbildung 11 Die automatische Unterstützung im ATEO Master Display
- Abbildung 12 Anzahl genutzter Automatikfunktionen
- Abbildung 13 Häufigkeit der Nutzung von Automatikfunktionen
- Abbildung 14 Nutzergruppen in Bezug auf die Automatikfunktionen
- Abbildung 15 Mehrfach initiierte Automatikfunktionen

Abkürzungen

ATEO	= Arbeitsteilung Entwickler Operateur
DFA	= Dynamische Funktionsallokation
<i>eins.</i>	= einseitig
<i>M</i>	= Mittelwert
Mdn	= Median
NASA-TLX	= NASA Task Load Index
<i>r</i>	= Korrelation (nullter Ordnung)
<i>r</i> _{Teil}	= Teilkorrelation
RSE _A	= Rating Scale Effort (für das ATEO Projekt adaptierte Skala)
RSME _A	= Rating Scale Mental Effort (für das ATEO Projekt adaptierte Skala)
SAGAT	= Situation Awareness Global Assessment Technique
SAM	= Socially Augmented Microworld
<i>SD</i>	= Standardabweichung
SPAM	= Situation Present Assessment Method

Zusammenfassung

Mit der Automatisierung geht stets erneut die Frage nach der Funktionsallokation einher. Diese lässt sich, vereinfacht, wie folgt formulieren: Welche Aufgaben bzw. Funktionen soll die Automation und welche der Mensch ausführen? Traditionelle Ansätze zur Beantwortung dieser Frage zielen auf maximale Automatisierung und statische Aufgabenteilungen ab. Sie ermöglichen Operateuren (Nutzern) kaum eine Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen. Heute haben sich daher vermehrt dynamische Ansätze der Funktionsallokation durchgesetzt, bei denen sich Operateur und Automation die Kontrolle für bestimmte Aufgaben während des Prozesses teilen oder übergeben können. Diese dynamische Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation wird auch als *kooperative Automation* bezeichnet. Die konkrete Ausgestaltung dieser kooperativen Automation wirft viele, insbesondere aber zwei zentrale Fragen auf: Wer hat (wann wieviel) Kontrolle? Und wer entscheidet darüber? Diese Fragen nach Kontrolle und Autorität bildeten die Grundlage für das theoretische und empirische Anliegen dieser Arbeit. Auf Basis einer umfangreichen Diskussion, wie diesen Fragen bisher in der Literatur begegnet wurde, wurde ein eigenes Rahmenmodell vorgeschlagen. Dieses erlaubt, anhand der Aspekte Autorität und Kontrolle, konkrete und trennscharfe Kooperationsformen zwischen Operateur und Automation zu beschreiben. Der einfachste Fall einer Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation wurde sodann in einer Studie mit 81 Operateuren untersucht. Es interessierte, ob sich die Leistung von Operateuren, welche bei der Prozessüberwachung und -führung optional mit einer automatischen Unterstützung zusammenarbeiten konnten, im Vergleich zu Operateuren ohne eine solche automatische Unterstützung verbessert. Für bestimmte Leistungsindikatoren konnten in der Tat höchst positive Effekte der automatischen Unterstützung ermittelt und konkrete Interaktionsmuster der Operateure in der Kooperation mit der automatischen Unterstützung beschrieben werden. Die theoretischen und empirischen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern eine Grundlage für differenzierte Bewertungen und somit auch Empfehlungen spezifischer Kooperationsformen, die bisher gerade im Hinblick auf die Ausgestaltung kooperativer Automation noch rar sind.

1 Einführung: „...Aber den Menschen brauchen wir noch.“ – Was Automation ist, verspricht und bewirkt

Diese Arbeit beginnt mit einem einführenden Kapitel zum Thema Automatisierung im Bereich komplexer Mensch-Maschine-Systeme. In einem ersten Abschnitt wird zunächst erläutert, was unter Automatisierung verstanden – und welcher Nutzen sich von der Einführung automatischer Systeme oder Funktionen versprochen wird (Kapitel 1.1). Dieser (angestrebte) Nutzen wird sodann möglichen Risiken der Automation gegenübergestellt, die insbesondere in der fehlerhaften Interaktion von Operateuren mit dieser Automation zu sehen sind. Ausgehend von Fehlverhaltensweisen der Operateure wird der Fokus auf eine andere Menschengruppe – die Entwickler hinter der Automation – gerichtet (Kapitel 1.2). Denn eine fehlerhafte wie erfolgreiche Interaktion zwischen Operateur und Automation ist immer auch auf die Ressourcen und Leistung von Entwicklern dieser Automation zurückzuführen. Den Entwickler daher schon früher und stärker in Bezug auf die Analyse der Interaktion zwischen Operateur und Automation zu berücksichtigen, stellt auch über dieses Kapitel hinaus ein grundsätzliches Anliegen dar und wird im Verlauf dieser Arbeit immer wieder aufgegriffen.

1.1 Kehrseiten der Automation: Fehler von Operateuren in der Interaktion mit automatischen Systemen

„Although the research literature provides substantial evidence of performance and workload benefits [...], automation is a two-edged sword [...], with the potential to cause a range of well documented problems, including vigilance decrements, complacency and loss of situation awareness [...].“

(Sauer, Nickel & Wastell, 2013, S. 119)

Als „technological Imperative“ beschrieb Sheridan (2000, S. 214) die vor allem entwicklerseitige Neigung, die Automatisierung so stark wie möglich voranzutreiben. Heute kennzeichnet dieser Trend unser Zeitalter. Aufgrund des technischen Fortschritts schreitet die Automatisierung von Handlungen und Informationsverarbeitungsprozessen in vielfältigen alltagsbezogenen wie sicherheitskritischen Domänen (Parasuraman &

Wickens, 2008) voran. Dabei bedeutet Automatisierung per definitionem das stückweise bis vollständige Ersetzen menschlicher (Teil-) Handlungen durch technische Funktionen (Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2000). Was bzw. welche Funktionen als automatisch angesehen werden, ist somit abhängig von der zeitlichen Perspektive: Sobald die Übertragung einer Funktion von Mensch an Maschine abgeschlossen und permanent ist (der Mensch diese Funktion also nicht mehr operativ übernehmen kann), sprechen wir nicht mehr von automatischer, sondern maschineller Ausführung (Parasuraman & Riley, 1997). Automation bezieht sich also stets auf Funktionen, die (prinzipiell) auch manuell durch den Nutzer bzw. Operateur ausgeführt werden können (Moray, Inagaki & Itoh, 2000; Parasuraman & Riley, 1997) und die somit noch nicht als systeminhärent bzw. als integrierter Bestandteil des Systems angesehen werden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass automatische Systeme immer noch Mensch-Maschine-Systeme sind, für welche sowohl technische als wiederum auch menschliche Faktoren relevant sind (Bibby, Margulies, Rijnsdorp, Withers & Makarow, 1975, zit. nach Bainbridge, 1983).

Ursprünglich aus Gründen technischer Machbarkeit oder zur Ersparnis von (finanziellen, aber auch physischen und psychologischen) Kosten eingeführt (Parasuraman & Riley, 1997) dienen automatische Systeme ihrem Nutzer heute auch dazu, die zunehmend komplexer werdenden (dynamischen) Systeme überhaupt oder effizienter kontrollieren zu können (Abbink, Mulder & Boer, 2012). Man verspricht sich davon mehr Sicherheit, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und Komfort (Billings, 1997). Allerdings lassen sich Leistung und Sicherheit des Gesamtsystems natürlich nur dann verbessern, wenn die Automation auch adäquat konzipiert und genutzt wird (Bye, Hollnagel & Bendeford, 1999; Miller & Parasuraman, 2007). Tatsächlich werden automatische Systeme jedoch nicht immer im sprichwörtlichen Sinne des Erfinders genutzt (Parasuraman & Wickens, 2008). Empirische Befunde und insbesondere schwerwiegende reale Unglücke wie der Tschernobyl-Unfall im Jahr 1986 oder der Unfall im Kernkraftwerk Three Mile Island in Pennsylvania im Jahr 1979 verdeutlichen die Ausmaße möglicher Fehlverhaltensweisen von Operateuren in der Interaktion mit automatischen Systemen. Dabei ließ sich über die Jahre typisches Fehlverhalten von Operateuren definieren, die zur Kategorisierung, zum Beispiel in „Misuse“ und „Disuse“ (Parasuraman & Riley, 1997, S. 238 und 244), angeregt haben: Misuse tritt in Folge von Übervertrauen in die Automation auf bzw. als Folge von Complacency, einer ungerechtfertigten Sorglosigkeit bei Operateuren bzw. einer ungerechtfertigten

Annahme eines zufriedenstellenden Systemzustands (Bahner, Hüper & Manzey, 2008; Billings, Lauber, Funkhouser, Lyman & Huff, 1976). Das resultierende Fehlverhalten von Operateuren, Misuse, äußert sich dann zum einen in einer unzureichenden bzw. unkritischen Überwachung des Systemzustands (Parasuraman & Manzey, 2010) (sogenannter Omission Error). Zum anderen äußert sich Misuse in einem unkontrollierten Befolgen von Empfehlungen der Automation (sogenannter Commission Error). Complacency bzw. Misuse treten insbesondere dann auf, wenn die Automation besonders zuverlässig (aber nicht perfekt) ist (Parasuraman, Molloy & Singh, 1993), oder wenn diese über einen längeren Zeitraum genutzt wird (Parasuraman, Mouloua, Molloy & Hilburn, 1993). Ebenso sind Complacency und Misuse als Folge mangelnder Transparenz des Systems (Manzey & Bahner, 2005) und hohem Workload des Operateurs (Parasuraman & Manzey, 2010) zu sehen. Der gegenteilige Fall, Disuse, tritt bei Operateuren aufgrund eines zu geringen Vertrauens in die Automation oder aufgrund negativer Erfahrungen mit der Automation sowie bei einem zu hohem Workload auf. Das Disuse-Verhalten äußert sich dann in der Nichtnutzung, das heißt im Ignorieren oder Ausschalten von automatischen Systemen, insbesondere von Alarmen (Beck, McKinney, Dzindolet & Pierce, 2009). Bei der Frage, wie solche fehlerhaften Interaktionen zwischen Operateur und Automation verhindert werden können, muss sich der Blick jedoch nicht nur auf die Nutzer, sondern auch auf die Entwickler automatischer Systeme richten. Diese Forderung wird im nächsten Abschnitt vertieft.

1.2 Die Menschen *hinter* der Automation: Weshalb Entwickler bei der Interaktion zwischen Operateur und Automation berücksichtigt werden müssen

„Automated systems designers, too, have a responsibility to ensure that the design principles they employ take into account both the weaknesses and the strengths of human performance, and attempt to optimize the performance of both the automation and the operators.“

(Sherman, Hines & Helmreich, 1997, S. 137)

Die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Klassifikationen menschlicher Fehlverhaltensweisen – und deren juristische Entsprechung im Sinne der Zuschreibung

einer Haftungspflicht – verleiten nicht selten dazu, den Operateur allein für die reibungslose Interaktion mit der Automation verantwortlich zu machen. Die Haltung, menschliches Verhalten unabhängig vom technischen System zu betrachten und vom menschlichen Fehler zu sprechen, wird zu Recht heftig kritisiert (z. B. Christoffersen & Woods, 2002). Tatsächlich sind Fehler in Mensch-Maschine-Systemen meist das Resultat komplexer Kausalketten der Interaktion zwischen Mensch und Automation. Ob Operateure ein automatisches System adäquat nutzen (Kapitel 1.1), ist dabei immer auch von einer anderen Personengruppe abhängig: den *Entwicklern* dieser automatischen Systeme, auf deren Intelligenz das Funktionieren der Automation ja maßgeblich zurückzuführen ist (Norman, 2007). So liegt der Schlüssel zu einer erfolgreichen Prozessüberwachung und -führung immer (auch) darin, wie gut Entwickler die Interaktion von Operateur und Automation bzw. leistungsrelevante Aspekte wie den Erhalt des Situationsbewusstseins oder den Workload des Operators unterstützen (Kaber, Riley, Tan & Endsley, 2001) oder unterstützt haben. Dieser Teilabhängigkeit der Operateursleistung von der Leistung der Entwickler wird mit der wiederholten – wenn auch sehr allgemeinen – Forderung begegnet, die Automation dürfe nicht „clumsy“ (Billings, 1997, S. 193; Miller & Parasuraman, 2007, S. 59; Wiener, 1989, S. 173), also in einer ungeschickten Art und Weise, gestaltet werden. Unerwünschte Zustände des Operators wie ein zu geringes Situationsbewusstsein oder ein unbalancierter Workload (Parasuraman, Barnes & Cosenzo, 2007) sollten somit schon in der Entwicklungsphase vermieden werden. Die Bedeutung der Leistung von Entwicklern für die Interaktion von Operateur und Automation berücksichtigen auch Parasuraman und Riley (1997): Neben Misuse und Disuse definieren sie eine dritte Fehlerkategorie, den sogenannten „Abuse“ (S. 246), der sich nun weniger an den Operateur, als direkt an den Entwickler richtet. Abuse bezeichnet die wenig nutzerzentrierte, sondern vor allem quantitativ, technikzentriert und wirtschaftlich ausgerichtete Automatisierung unter der (falschen) Annahme, dass sich durch die Reduktion menschlicher Anteile im Mensch-Maschine-System auch der menschliche Fehler reduzieren ließe (Bainbridge, 1983). Dekker und Woods (2002) kritisieren diese Annahme zu Recht als Substitutions-Mythos. Denn tatsächlich bringt ein zunehmendes Maß an Automation statistisch gesehen nicht nur mehr Wirtschaftlichkeit und Sicherheit (Sarter, Woods & Billings, 1997), sondern auch viele Risiken (Miller, Funk, Goldman, Meisner & Wu, 2005) bzw. neue, unvorhergesehene Probleme (Scerbo, 2006) mit sich, die auch als „Automation Surprises“ (Sarter et al., 1997, S. 1926) beschrieben werden.

Damit werden beim Operateur Fragen aufgeworfen wie: Was tut das automatische System jetzt? Weshalb tat es das? Was tut es als nächstes? (Sarter et al., 1997). Das Resultat sind die gerade unerwünschten Effekte wie Einbußen in Situationsbewusstsein (Kaber & Endsley, 2004) und Mode Awareness (Sarter & Woods, 1995), unbalancierter Workload (Parasuraman et al., 2007) sowie Complacency und eingeschränkte Vigilanz (Parasuraman et al., 2007; Parasuraman & Manzey, 2010; Kapitel 1.1). Aufgrund solcher Effekte wird auch von einem zweischneidigen Schwert der Interaktion mit Automation gesprochen (z.B. Jamieson & Vicente, 2005; Miller & Parasuraman, 2007). Das Bestreben von Entwicklern, den unzuverlässigen Menschen durch eine (vermeintlich) zuverlässige Automation zu ersetzen, ist deshalb für Bainbridge (1983, S. 775) ein Ausgangspunkt für die von ihr beschriebenen „Ironien der Automatisierung“: Zum einen werden die angeblich zuverlässigen automatischen Systeme von unzuverlässigen Menschen entwickelt und gewartet. So können Entwicklerfehler selbst die Quelle für Prozessüberwachungs- und -führungsprobleme sein. Zum anderen bleiben bei dem Versuch, den Operateur durch Automation zu ersetzen, immer Aufgaben übrig, für die Entwickler keine automatische Lösung gefunden haben (Bainbridge, 1983). Dies führt zu paradoxen Ansätzen:

Einerseits will man den Handlungsspielraum des Operators bei der Interaktion mit der Maschine auf Überwachungstätigkeiten reduzieren (Badke-Schaub, Hofinger & Lauche, 2008). Aufgrund ihres Bildes von einem unzuverlässigen Operateur weisen Entwickler und Manager dem Operateur eine veränderte Rolle (Flemisch et al., 2012; Nachtwei, 2011a) zu: von einem aktiven, manuell kontrollierenden hin zu einem passiven (Byrne & Parasuraman, 1996; Nachreiner, Nickel & Meyer, 2006; Sheridan, 1997) Prozessüberwacher und -führer (Lee & Moray, 1992). Diese reduzierte Rolle (Miller & Parasuraman, 2007) wurde von vielen Forschern bereits sarkastisch mit „Symptom-Analyst“ (Meister, 1999, S. 135), „Monitor“ (Kaber & Endsley, 2004, S. 114), „Sporadic button pusher“ oder „Baby-sitter“ (Hancock, 2007, S. 685) kritisiert. Denn durch die ihn ersetzende Automation verliert der Operateur langfristig seine Fähigkeit zur sensomotorischen und kognitiven Kontrolle des Prozesses sowie kurzfristig seine Aufmerksamkeit bzw. Antizipationsmöglichkeit in Bezug auf den Prozess (Bainbridge, 1983), das heißt sein Situationsbewusstsein wird reduziert. Die damit einhergehende Schwierigkeit, (wieder) in den Systemprozess einzugreifen und die manuelle Prozessführung zu übernehmen, wird auch als „Out of the loop unfamiliarity“ (OOTLUF; Wickens & Hollands, 2000, S. 544) bezeichnet.

Andererseits will man den Operateur als Sicherheitsreserve für den Störfall behalten. So werden Operateure nach wie vor dafür benötigt, das Funktionieren der Automation zu überprüfen (Bainbridge, 1983). Diesen Umstand adressieren Parasuraman und Wickens (2008, S. 511) sehr anschaulich mit dem Titel „Humans: Still vital after all these years of automation“. In kritischen Situationen, für welche die Automation nicht gemacht ist oder in denen sie versagt, soll der Operateur zudem meist sehr spontan manuell wieder einspringen. Diesem oft zitierten Verhältnis aus meist monotoner, lang andauernder Überwachungstätigkeit und ad hoc erforderlichem Eingreifen des Operators widmet Hancock (1997) auch den Artikel „Hours of Boredom, Moments of Terror“. Dabei bedeutet nicht nur der rapide Wechsel, sondern sowohl ein zu geringes, als auch ein zu hohes Maß an Workload größten Stress für den Operateur (Hancock, 2007). Das unzureichende Augenmerk von Entwicklern auf den Operateur wirkt sich höchst schädlich auf die Leistung von Operateuren aus (Cummings & Thornburg, 2011). Entwickler provozieren mit inadäquater Automation (Abuse) eher noch die Zunahme von Fehlern bei Operateuren (Misuse und Disuse; Kapitel 1.1). Dies mag jene Entwickler und Manager wiederum dazu antreiben, noch stärker bzw. auf noch höherem Level zu automatisieren (Parasuraman & Riley, 1997). Dieser Teufelskreis im Sinne eines Ungleichgewichts zwischen Entwicklern, Managern und Operateuren ist bis heute ungebrochen (Abbink et al., 2012) und das undifferenzierte Menschenbild eine Grundlage für reale Entwicklungsprozesse. Viele Probleme der Mensch-Automation-Interaktion stammen von unpassenden Annahmen, die Entwickler und Manager über Bedürfnisse und Unterstützungsmöglichkeiten des Operators haben (Lee, 2008). Den Entwicklern eine veränderte, differenzierte Perspektive auf Operateure und deren Kontexte zu ermöglichen (Hale, Kirwan & Kjellén, 2007), ist daher essentiell. Ob der Mensch „in the loop“ bleibt, das heißt in derart kritischen Szenarien die Situation sowie den konkreten Zustand der Automation verstehen, interpretieren und zukünftige Zustände vorhersehen kann, wird maßgeblich von der nutzerfreundlichen Gestaltung der Automation durch die Entwickler mitbestimmt. Immer wieder muss daher die Frage aufgeworfen werden, welche Aufgaben bzw. Funktionen in welchem Grad automatisiert werden sollen, um die Leistung, Sicherheit und Effizienz des Gesamtsystems und ebenso die Zufriedenheit des Nutzers zu optimieren. Dieser Frage nach der *Funktionsallokation* (Wright, Dearden & Fields, 2000) wird im nächsten Abschnitt nachgegangen.

2. Hintergrund: Klassische und heutige Ansätze für die stets erneute Frage nach der Funktionsallokation

Mit der Automatisierung geht stets eine zentrale Frage einher: Welche Funktionen soll die Automation übernehmen, welche überlässt man dem Menschen (aus welchen Gründen)? Welche Rolle wird jeweils der Automation bzw. dem Operateur zugewiesen? Strategien zur Beantwortung dieser zentralen und stets aktuellen Frage nach der sogenannten Funktionsallokation geht dieses Kapitel nach. Ausgehend von klassischen Strategien der Automatisierung (Kapitel 2.1), die vorwiegend auf eine statische Funktionsteilung ausgerichtet sind, stehen heute solche Strategien bzw. Automationskonzepte im Vordergrund, die eine (dynamische) Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation ermöglichen (Kapitel 2.2). Letztere stellen die Grundlage für das theoretische und empirische Vorhaben dieser Arbeit dar und werden daher im Detail behandelt.

2.1 Wer macht was? Klassische Strategien der Automatisierung

„Who does what? Human or machine?“

(Hancock & Scallen, 1997, S. 5)

Die – immer wieder von neuem zutreffende – Entscheidung über die Funktionsteilung zwischen Mensch und Automation stellt die zentrale Aktivität der Human Factors Forschung (DeWinter & Doudou, 2011) bzw. der „Gestaltung automatisierter Arbeitssysteme“ (Grote, 1997, S. 152) dar. Welche Rolle(n) soll der Operateur gegenüber der Automation einnehmen (Scallen & Hancock, 2001)? Welche Funktionen soll er ausführen, welche übernimmt die Automation und welche übernehmen beide gemeinsam? Zur Beantwortung solcher Fragen nach der Funktionsallokation lassen sich historisch bzw. perspektiven- und menschenbildabhängig (Grote, 1997) unterschiedliche Automatisierungsstrategien definieren, deren Anzahl und Kategorisierung je nach Autor (z. B. Bailey, 1989; Hollnagel & Bye, 2000; Rouse, 1991) leicht variiert. Die Einteilung in Strategien ist dabei als ein nachträglicher Ansatz zu verstehen, da sich die Automatisierung tatsächlich eher implizit und nicht bewusst nach abgrenzbaren Motivationslagen

vollzogen hat. Im Nachhinein lassen sich aber unterschiedliche Ansätze für die Automatisierung identifizieren: So sind traditionelle Strategien der Automatisierung vor allem technisch bzw. ökonomisch motiviert (Kapitel 2.1.1). Von solchen lassen sich Strategien abgrenzen, in welchen Stärken und Schwächen von Mensch und Automation gegeneinander abgewogen werden, um zu entscheiden, welche Funktionen automatisiert werden sollen (Kapitel 2.1.2). Dabei lassen sich *kompensatorische* Ansätze, bei denen Mensch und Automation als Konkurrenten verstanden werden können, von sogenannten *komplementären* Ansätzen trennen, in denen gefordert wird, Mensch und Automation eher als sich ergänzende Akteure anzusehen. Diese Forderung bildet auch die Grundlage für die sogenannte kooperative Automation, welche sich als aktuell dominierende Strategie in der Forschung herausgebildet hat. Hier werden Mensch und Automation als Kooperationspartner verstanden, die sich die Kontrolle bzw. Ausführung von Funktionen teilen oder gegenseitig dynamisch übertragen können. Da die kooperative Automation in dieser Arbeit zentral ist, wird sie in einem separaten Kapitel (Kapitel 2.2) diskutiert.

2.1.1 Automation aus Gründen technischer Machbarkeit und Kostenersparnis

Motiviert durch die technische Machbarkeit und das Ziel, zuvor von Menschen verrichtete, belastende Arbeiten an Maschinen zu übertragen, trieben Technologen und Ingenieurwissenschaftler die Vollautomatisierung voran (Chapanis, 1970). Technik wurde dabei als Garant von Effizienz und Sicherheit gesehen (Grote, 1997). Insofern geht diese maximale, auf technische Machbarkeit ausgerichtete Automatisierung auch Hand in Hand mit der sogenannten *Economic Allocation*. Bei letzterer werden Funktionen dann automatisiert, wenn dies kostengünstiger ist, als dieselbe Funktion durch einen Menschen ausführen zu lassen (Inagaki, 2003). Die Funktionsteilung insbesondere von funktional-ökonomischen Kriterien abhängig zu machen, wird daher von Price (1985) zu Recht als nicht ausreichend kritisiert. Denn sowohl bei der technisch als auch ökonomisch motivierten Automatisierungsstrategie spielen die Bedürfnisse und Stärken menschlicher Nutzer und letztlich auch die Folgen für die Sicherheit des Gesamtsystems offensichtlich kaum eine Rolle. Bei beiden Formen der Funktionsallokation bleiben immer Funktionen übrig, die technisch (noch) nicht zu automatisieren sind (Bainbridge, 1983; Kapitel 1.2), und die der Operateur dann zwangsweise, jedoch unabhängig von seinen Fähigkeiten und Bedürfnissen,

übernehmen muss. So endet das technisch ausgerichtete Streben nach Vollautomatisierung in der Realität eher in einer *Leftover Allocation* (Bailey, 1989; Woods & Hollnagel, 2006).

2.1.2 Automation zur Vermeidung menschlicher Schwächen und Ergänzung menschlicher Stärken

Als Ausdifferenzierung der maximalen Automatisierung resultiert ein bis heute von Human Factors Forschern viel diskutierter Ansatz zur Funktionsallokation: die sogenannte *Comparison Allocation*. Diese basiert auf einem relativen Stärken-Schwächen-Vergleich zwischen Mensch und Automation (Scallen, Hancock & Duley, 1995). Automation wird hier insofern nicht möglichst weitreichend, sondern nach Abwägung eingeführt, um menschliche Schwächen, zum Beispiel in Wahrnehmung und Gedächtnis, zu vermeiden. Im Jahr 1951 beschrieb Paul M. Fitts (1912-1965), ein prominenter Vertreter dieses kompensatorischen Ansatzes, in seiner Liste „Division of Responsibility“ (Fitts, 1951, S. 10) erstmals, was Menschen und Maschinen jeweils besser können. Die elf Aussagen dazu, ob jeweils Mensch oder Maschine eine bestimmte Funktion besser ausführen, sind auch als „Fitts's List“ oder „MABA-MABA (Men are better at – Machines are better at)“-Liste bekannt (DeWinter & Doudou, 2011, S. 2) und erschienen über die Jahre in weiteren Ausführungen (z. B. Kirchner, 1972; Lanc, 1975; Parsons, 1981). Darin werden Mensch und Maschine als informationsverarbeitende Systeme mit unterschiedlichen Fähigkeiten betrachtet und die Automatisierung einer Funktion dann empfohlen, wenn der Mensch der Automation in der jeweiligen Ausführung unterliegt (Inagaki, 2003). Mit der Zeit bzw. mit zunehmenden technischen Möglichkeiten verändert sich entsprechend das Ergebnis des Vergleichs und damit auch die Entscheidung über die Zuordnung der Funktionen an Mensch oder Automation (Grote, 1997). Oder, wie Sheridan (2000, S. 205) es formuliert: „It is important to emphasize that proper allocation of functions between human and machine is a moving target. [...] what may have been a best allocation last year may not be best this year, where best is taken to mean best system performance in an objective sense“. Weil Mensch und Automation qualitativ verschieden sind (Jordan, 1963), der Mensch gegenüber der Automation zum Beispiel über ein relativ konstant bleibendes Arbeitsgedächtnis verfügt, wird die Automation dem Menschen auf Dauer in Bezug auf immer mehr Funktionen überlegen sein (Nachtwei, 2011a). Die

Abhängigkeit dieser kompensatorischen Funktionsteilung von Situationen (Rognin, Salembier & Zouinar, 2000) bzw. vom Stand der Technik macht den Vergleich von Mensch versus Maschine obsolet (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht). Dies wird auch als Ausgangspunkt für das Forschungsprojekt ATEO (Arbeitsteilung Entwickler Operateur; Kapitel 3) diskutiert, welches das Rahmenprojekt dieser Arbeit darstellt.

Ebenso wie die Vollautomatisierung (Kapitel 2.1.1) gilt die hier beschriebene Automatisierungsstrategie zur Vermeidung menschlicher Schwächen heute in der Forschung aufgrund ihres zugrunde liegenden, starren Mechanismus der Funktionsallokation als überholt (Hollnagel, 1999; Kaber & Endsley, 2004). Die Zuordnung von Funktionen wird bereits in der Entwicklungsphase endgültig festgelegt, lässt sich also später im Echtzeitprozess nicht mehr ändern (Inagaki, 2003). Die Art der Funktionsallokation wird daher auch als statisch, dichotom oder fixiert kritisiert (z. B. Scallen & Hancock, 2001), weil die trennscharfe Aufgabenteilung in „you do this much, I do this much“ (Dekker & Woods, 2002, S. 240) der dynamischen Umwelt eines Mensch-Maschine-Systems nicht gerecht wird, bzw. zu wenig an menschlichen Charakteristika oder Bedürfnissen ausgerichtet ist (Inagaki, 2003).

Die notwendige Ausrichtung auf den Menschen, seine Verantwortung für Fehler in der Interaktion mit technischen Systemen sowie die Notwendigkeit, seine Stärken zu erhalten, rückte erst in den 80er Jahren zunehmend in den Blickpunkt. Im „Humanized Task Approach“ (Bailey, 1989, S. 189) werden daher Funktionen bewusst sinnvoll, menschengerecht und motivierend konzipiert (Volpert, 1990). Funktionen, deren Konzeption nach diesen Kriterien nicht möglich ist, werden automatisiert. Die Forderung danach, den Menschen und Mechanismen seiner Handlungsregulationen – Zielorientierung, Bedürfnis nach Kontrolle, Körperlichkeit und sozialer Orientierung – stärker in die Gestaltung (jeder Form) von Arbeitsaufgaben und -abläufen mit einzubeziehen, entstammt dem Ansatz zur kontrastiven Arbeitsanalyse (Dunckel, 1999). Im Vordergrund steht hier die angemessene Nutzung menschlicher Ressourcen bei der Einführung neuer technischer Hilfsmittel, anstatt sich ausschließlich nach den technischen Möglichkeiten zu richten (Dunckel & Pleiss, 2007). Der Operateur wird nicht mehr als ein zu ersetzender Störfaktor, sondern als eine „wertvolle Ressource“ (Grote, 1997, S. 153) betrachtet, für den die Folgen der Automation positiv gestaltet werden müssen. Dies entspricht auch dem Konzept der „human-centered“ Automation (Sarter et al, 1997, S. 1926; Wickens & Hollands, 2000, S. 545) – dem vielleicht

romantischen Ideal (Sheridan, 2000), den Operateur, seine Fähigkeiten und seine Zufriedenheit als Ausgangslage für Funktionsallokation anzusehen.

Mensch und Automation werden nicht mehr als konkurrierend bzw. kompensatorisch, sondern, wie oft gefordert (z. B. Jordan, 1963; Sheridan 1988), als komplementär angesehen. Es geht nicht mehr darum, zu bestimmen, wer besser, schneller oder zuverlässiger ist, sondern wie sich beide bestmöglich ergänzen können, um die Aufgabe des Gesamtsystems optimal zu erfüllen (Wäfler, Grote, Windischer & Ryser, 2003). Insofern ist die komplementäre Automatisierungsstrategie auch als Konkretisierung eines soziotechnischen Systems (Emery & Trist, 1960) zu verstehen: Es gilt, Mensch und Automation gemeinsam als Subsysteme bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen zu berücksichtigen (Kleiner, 2008). Die zentrale Aufgabe besteht darin, Menschen im Umgang mit Komplexität zu analysieren, zu modellieren und zu unterstützen (Woods & Hollnagel, 2006), gerade da diese Komplexität mit fortgeschrittenem Automationsgrad noch zunimmt (Abbink et al., 2012; Miller, Funk, Wu et al., 2005). Die Sichtweise, weder Mensch noch Automation allein, sondern deren Interaktion bzw. das Joint Cognitive System (Hollnagel & Woods, 1983; Roth, Bennett & Woods, 1987) für Fehler und Erfolg des Gesamtsystems verantwortlich zu machen, ist bis heute dominierend. Sie stellt auch die Grundlage für die Strategie der kooperativen Automation dar, welcher sich der folgende Abschnitt widmet.

2.2 Wie können Mensch und Automation bestmöglich zusammen arbeiten? Heutige Strategie der Automatisierung: Automation als Kooperationspartner

„In guiding their design decisions (and thus generating their hypotheses), system developers should abandon the traditional ‘who does what’ question of function allocation. Instead, the more pressing question today is how to make humans and automation get along together.“

(Dekker & Woods, 2002, S. 243)

Die zunehmende Intelligenz von Computern (Inagaki, 2010; Flemisch et al., 2012) bringt automatische Systeme einerseits auf Augenhöhe mit Operateuren. Gleichzeitig sorgt sie jedoch auch für Verständnisprobleme zwischen beiden (Hoc,

2001). Verbesserungen der Interaktion zwischen Automation und Operateur müssen daher heute nicht mehr ausschließlich auf der physischen Ebene, zum Beispiel nutzerorientierten Gestaltung von Interfaces, ansetzen, sondern auch auf der kognitiven, zum Beispiel auf Symbol- oder Konzeptebene (Hoc, 2001). So nutzt die Forschungstradition der Mensch-Computer-Interaktion zunehmend metaphorische Konzepte der Mensch-Automation-Kommunikation und -Kooperation (Flemisch et al., 2003; Hoc, 2001): Anstelle statischer Aufgabenteilungen steht gerade die Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation im Vordergrund. Entsprechend findet eine Abwendung von statischen hin zu dynamischen Ansätzen der Funktionsallokation statt, bei der sich Operateur und Automation die Kontrolle für Aufgaben während des operativen Prozesses gegenseitig übergeben bzw. teilen können. Die dynamische Funktionsteilung stellt die Grundlage für die heute favorisierte Strategie der kooperativen Automation dar, welche im nächsten Abschnitt (Kapitel 2.2.1) beschrieben wird. Ihre zentralen Konzepte werden im Anschluss erläutert und diskutiert (Kapitel 2.2.2) sowie Implikationen aus dieser Diskussion für das weitere Vorgehen dieser Arbeit in einem Fazit zusammengefasst (Kapitel 2.2.3).

2.2.1 Kooperative Automation auf der Grundlage dynamischer Funktionsallokation

Die Idee, Mensch und Automation als Kommunikations- und Kooperationspartner zu betrachten, ist genau genommen schon etwa 30 Jahre alt. Sheridan und Verplank (1978) eröffneten mit ihrem Modell der *Level of Automation* (LOA; Kapitel 5) eine Variation an Kooperationsmöglichkeiten zwischen Mensch und Automation. Sie revolutionierten die bis dahin vorherrschende Sichtweise auf Mensch und Automation als sich ausschließende Instanzen: Anstatt entweder Automation oder Mensch als ausführendes Organ einer Funktion zu sehen, repräsentieren die LOA Abstufungen der automatischen bzw. der menschlichen Kontrolle. Diese implizieren, dass sich Mensch und Automation die Kontrolle für Aufgaben und Funktionen auch teilen und gegenseitig übergeben können (Sheridan & Verplank, 1978). Seither beschäftigt zahlreiche Forscher die Frage, wie genau man sich dieses Teilen und Übergeben der Kontrolle vorstellen und erfolgreich implementieren kann. Aus den in Kapitel 2.12 genannten Gründen wird heute Abstand genommen von einer *statischen* Implementation im Sinne von Fitts (1951): Bei dieser wird ein bestimmtes LOA konstant (Endsley & Kiris, 1995) oder fixiert (Parasuraman & Riley, 1997) als

Entscheidungsentscheidung festgelegt. Die Operateur bzw. Automation zugeteilte Ausführung bzw. Kontrolle einer Funktion ist somit im Prozess selbst nicht mehr zu ändern. Das wird wiederum den dynamischen Veränderungen von Kontextbedingungen und von Operatorsbedürfnissen nicht gerecht (Scallen et al., 1995). Stattdessen hat die *dynamische Funktionsallokation* (DFA; Kaber et al., 2001) an Bedeutung gewonnen. Hier kann das LOA abhängig von Umweltfaktoren, Workload und der Leistung von Operateur und Automation dynamisch verändert (Hildebrandt & Harrison, 2002) bzw. die Kontrolle für bestimmte Funktionen dynamisch zwischen Operateur und Automation übergeben werden (Scallen & Hancock, 2001). Die Funktionsallokation geschieht hier also nicht vor, sondern in Echtzeit, während des Interaktionsprozesses (Sheridan & Parasuraman, 2005). Oder, wie Feigh, Dorneich und Hayes (2012) es beschreiben: Wenn Entwickler Menschen und Maschinen Funktionen zuweisen, sprechen wir von statischer Funktionsallokation. Wenn Entwickler das System so konzipieren, dass die Funktionen während des Prozesses durch Operateur oder Automation selbst neu zugewiesen werden können, sprechen wir von DFA. Das Prinzip der DFA stellt auch die Grundlage für die Strategie der sogenannten *kooperativen Automation* (Hakuli et al., 2009; Kelsch, Heesen, Löper & Flemisch, 2009; Löper, Kelsch & Flemisch, 2008) bzw. „Cooperative Control“ (Flemisch et al. 2008, S. 1) dar. Ebenso wie bei der komplementären Automatisierungsstrategie steht bei der kooperativen Automation die Interaktion zwischen Automation und Operateur im Vordergrund: Automation und Operation werden nicht mehr isoliert, sondern als Joint Cognitive System (Hoc, 2007; Hollnagel & Bye, 2000; Vanderhaegen, 2012; Kapitel 2.1.2) verstanden. Die Annahmen der kooperativen Automation gehen jedoch noch über die komplementäre Strategie hinaus. Die Beanspruchung von Operateuren lässt sich nicht gleichsetzen mit der Summe von Anstrengungen der einzelnen beteiligten Akteure, hier: Operateur und Automation (Christoffersen & Woods, 2002). Der Operateur wird durch das Hinzufügen von Automatikfunktionen nicht einfach entlastet. Die Einführung oder Veränderung von Automatikfunktionen verändert die Grundstruktur aller Interaktionen (Woods & Dekker, 2000). Neue, bisher unbekannte Aufgaben und Interaktionsmuster entstehen (Dekker & Woods, 2002) bei dem Ausüben eines mit der Automation synchronisierten und konsistenten Verhaltens des Operateurs. Damit fordert die Strategie der kooperativen Automation eine noch größere Flexibilität sowohl für die Automation, als auch für den Operateur. Anstelle der traditionellen Frage nach *Wer macht was?* (Kapitel 2.1), sollte bei der DFA nach *Wer macht (wieviel von)*

was und wann, falls überhaupt? (Andes & Rouse, 1990; de Visser et al., 2008) gefragt werden. Für die kooperative Automation fordern andere (z. B. Christoffersen & Woods, 2002; Dekker & Woods, 2002; Hoc, 2007), die Kernfrage noch stärker auf die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Automation zu beziehen und daher zu fragen: *Wie kommen Operateur und Automation bestmöglich miteinander aus?* (Dekker & Woods, 2002). Aufbauend auf dem Prinzip der DFA, welches dynamische Veränderungen im operativen Prozess vorsieht, geht es in der Kooperation um die Gestaltung dieser Dynamik im Sinne einer gegenseitigen Abstimmung von Operateur und Automation. Dabei wird in der Literatur häufig die Brücke zur Sozialpsychologie geschlagen und diese Abstimmung zwischen Operateur und Automation an Beispielen sozialer Interaktion erläutert. So scheint die nächstliegende Metapher für die Operateur-Automatik-Interaktion bzw. kooperative Automation die Teamarbeit zu sein. Gerade im Hinblick auf den Einsatz von (künstlichen) Agenten bedient sich eine Vielzahl von Autoren dieser Metapher (z. B. Christoffersen & Woods, 2002; Griffiths & Gillespie, 2005; Hoc, 2001; Klein, Woods, Bradshaw, Hoffman & Feltovich, 2004; Langan-Fox, Canty & Sankey, 2009; Miller & Parasuraman, 2007; van Wissen, Gal, Kamphorst & Dignum, 2012). Sich als Operateur mit der Automation zu synchronisieren, ist dann annähernd vergleichbar mit der Herausforderung, sich mit einem neuen (menschlichen) Teammitglied abzustimmen (Christoffersen & Woods, 2002). Gesprochen wird dann einerseits von gleichberechtigten Akteuren (z. B. Heesen, Kelsch, Löper & Flemisch, 2010; Hoc, 2001; Löper et al., 2008) bzw. Teampartnern (Christoffersen & Woods, 2002; Miller & Parasuraman, 2007), aber auch von Machtverhältnissen: Denkbar ist beispielsweise die Delegation (Hakuli et al., 2009) von Aufgaben durch den Operateur an die Automation, ähnlich eines Vorgesetzten-Mitarbeiter-Verhältnisses (Miller, Funk, Goldman et al., 2005). Derartige Machtverhältnisse in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion werden intensiv von Flemisch und Kollegen (z. B. Flemisch et al., 2008, 2012; Heesen et al., 2010; Kelsch et al., 2009) beforscht. Ausgehend von der Teamarbeit bzw. einer auf dasselbe Ziel ausgerichteten Zusammenarbeit (Flemisch et al., 2012; Hoc, 2001) zwischen Operateur und Automation greift die Forschergruppe gezielt auf unterschiedliche Design-Metaphern aus dem nicht-technischen Alltag zurück (Flemisch et al., 2012; Kelsch, Flemisch, Löper, Schieben & Schindler, 2006). Beispiele sind die Eltern-Kind-Kommunikation beim Überqueren der Straße (Flemisch et al., 2012) oder die Reiter/Kutscher-Pferd-Kommunikation (Flemisch et al., 2008, 2012; Flemisch, Kelsch, Löper, Schieben & Schindler, 2008; Kelsch et al., 2006, 2009). Letztere ist als

sogenannte "H-Metaphor" (Flemisch et al., 2003, S. 6) eine viel zitierte Analogie für die haptisch-multimodale Fahrzeugführung (Flemisch et al., 2003, 2007; Flemisch, Kelsch, Schieben & Schindler, 2006). Wie der Reiter mit kurzem oder langem Zügel ("tight" vs. "loose" rein; Flemisch et al., 2003, S. 9), kann der Operateur mit der Automation über einen haptischen Steuerknüppel kommunizieren und Kontrolle aushandeln (Löper et al., 2008). Dabei berücksichtigen die Forscher als einige der wenigen auch die Frage nach den Transitionen der Kontrolle (Flemisch et al., 2012): Wie kann die Kontrolle von Operateur zu Automation übergehen und umgekehrt? Zudem diskutieren sie wesentliche Aspekte wie Kontrolle und Autorität, die zur Rollenklärung von Operateur und Automation beitragen. Insbesondere bei der Umsetzung dynamischer bzw. kooperativer Automationsfunktionen sind derartige Aspekte zu berücksichtigen. Dabei lassen sich heute zwei zentrale Konzepte der kooperativen Automation – die adaptive und die adaptierbare Automation – unterscheiden, welche die gegenseitige Anpassung von Automations- und Operateurverhalten ermöglichen. Die Automation kann sich entweder selbständig, abhängig von Umgebungsbedingungen und/oder Zuständen des Operateurs, einschalten oder anpassen (adaptive Automation). Umgekehrt kann auch der Operateur die Automation passend zu Kontextbedingungen oder nach seinen Zuständen und Bedürfnissen einschalten und anpassen (adaptierbare Automation). Auf beide Formen der kooperativen Automation wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Da es in der Literatur immer wieder zu überschneidenden Begriffsverwendungen kommt (insbesondere die adaptive Automation wird oft mit kooperativer Automation oder DFA gleichgesetzt), geht es im folgenden Abschnitt auch um eine Abgrenzung der wesentlichen Konzepte und Paradigmen.

2.2.2 Adaptive und adaptierbare Automation als zwei Konzepte kooperativer Automation

In der Literatur werden schon lange vor dem Aufkommen der kooperativen Automation zwei unterschiedliche Arten von Automationskonzepten diskutiert: adaptive und adaptierbare Automationskonzepte. Nach Langan-Fox et al. (2009) kennzeichnet adaptive und adaptierbare Konzepte eine Flexibilität, das Automationsverhalten an sich verändernde Bedingungen anzupassen. Obwohl die Bezeichnungen adaptiv und adaptierbar in der Literatur mittlerweile etabliert sind, lassen sich für beide noch immer unterschiedliche Definitionen finden. Da es

entsprechend bei der Charakterisierung von Systemen als entweder adaptiv oder adaptierbar schon zu mancher Konfusion gekommen ist (Scerbo, 2006), soll hier zunächst nochmals eine Begriffsklärung vorgenommen werden. Dafür werden, beginnend mit dem älteren Begriff der adaptiven Automation (Rouse, 1976), zunächst in der Literatur übliche Definitionen dargestellt.

Die adaptive Automation hat in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit in der Human Factors Forschung und Praxis erlangt (Calefato, Montanari & Tesauri, 2008). Mittlerweile existieren ausführliche Reviews nicht nur zur historischen Entwicklung des Konzepts (z. B. Inagaki, 2003; Scerbo, 2006) sondern auch zu seiner Implementation (z. B. Kaber et al., 2001). Die zahlreichen Definitionen der adaptiven Automation variieren allerdings bis heute. Oftmals wird adaptive Automation als Überbegriff für dynamische Automationskonzepte bzw. als Synonym für die DFA verwendet (z. B. de Greef, Arciszewski & Neerinx, 2010; Kaber & Endsley, 2004). Das heißt, viele Autoren setzen adaptive Automation gleich mit variabler (Abbink et al., 2012) oder flexibler Automation (Miller & Parasuraman, 2007) und ganz allgemein mit der geteilten bzw. zwischen Operateur und Automation wechselnden Kontrolle (Kaber, Wright, Prinzel & Clamann, 2005; Scerbo, 2006). Andere verstehen unter adaptiver Automation das dynamische Aktivieren einer automatischen Unterstützung auf Basis bestimmter Kriterien wie Kontextbedingungen oder Workload (Inagaki, 2003; Parasuraman, Bahri, Molloy & Singh, 1992). Die Frage, wer oder was jedoch den Wechsel der Kontrolle initiiert bzw. die automatische Unterstützung ein- und ausschaltet, wurde lange Zeit offen gelassen (z. B. Byrne & Parasuraman, 1996; Hancock & Scallen, 2001; Kaber et al., 2005). Aktiviert sich die Automation von selbst oder wird sie von einem Operateur oder sogar von beiden aktiviert und verändert? Diese Frage nach „authority and invocation“ (Scerbo, 2006, S. 1895) bzw. nach „authority and control“ (Flemisch et al., 2012, S. 3) stellt nach Meinung einer Vielzahl von Autoren eines der zentralen Themen der adaptiven Automation dar (z. B. Feigh et al., 2012; Flemisch et al., 2012; Inagaki, 2003; Moray et al., 2000). Sie wird auch im Verlauf dieser Arbeit noch dazu dienen, theoretische Ansätze der kooperativen Automation zu diskutieren (Kapitel 5).

Eben diese Frage, wer den Wechsel eines LOA initiiert (Scerbo, 2006; Miller, Funk, Goldman et al., 2005), hat in der Human Factors Literatur zu einer entsprechenden Ausdifferenzierung adaptiver Automation in Automation-induzierte vs. Operateur-induzierte Anpassung geführt (de Greef et al., 2010; Funk & Miller, 2001;

Langan-Fox et al., 2009; Sauer, Kao, Wastell & Nickel, 2011). Für den ersten Automation-induzierten Fall, in dem die Automation den Wechsel des LOA einleitet, wird der ursprüngliche Begriff adaptive Automation verwendet (Abbink et al., 2012; Langan-Fox et al., 2009; Miller & Parasuraman, 2007; Parasuraman et al., 2007; Sauer et al., 2013). Für den zweiten Fall wurde von Oppermann (1994) und Oppermann und Simms (1994) der Begriff adaptierbare Automation vorgeschlagen. Hier wird ein Wechsel des LOA nicht von der Automation, sondern vom Operateur initiiert (Miller & Parasuraman, 2007; Sauer et al., 2013; Scerbo, 2006). Die Trennung der Automationskonzepte wurde bereits von anderen (Rieger & Greenstein, 1983; Tattersall & Hockey, 2008) vorgeschlagen, wenn auch unter anderen Begrifflichkeiten, nämlich explizite (Operateur-induzierte) vs. implizite (Automation-induzierte) Formen adaptiver Automation.

Aber selbst die heute dominierende Trennung der Konzepte in adaptiv und adaptierbar bringt bisher nicht die gewünschte Einheitlichkeit der zugrunde liegenden Definitionen mit sich. So meint adaptive Automation beispielsweise nach Scerbo (1994, 1996, 2006) nicht rein Automation-induzierte Wechsel. Stattdessen sieht er beide, Operateur und Automation, als mögliche Initiatoren dafür, den aktuell operierenden Zustand zu ändern. Nach ihm können sich Operateur und Automation die Autorität auch teilen (Scerbo, 2006) und demnach auf Augenhöhe agieren. Dagegen werden adaptierbare Systeme mit einer Beziehung zwischen einem Vorgesetzten (Operateur) und Mitarbeiter (Automation) verglichen (Miller & Parasuraman, 2007; Kapitel 2.2.1), bei welcher der Operateur die Autorität hat, die Automation zu aktivieren oder deren Kontrolle zu verändern. Eine exemplarische Übersicht über die historisch angefallenen Definitionen zu jeweils adaptiver und adaptierbarer Automation liefert Tabelle 1. Es lässt sich ablesen, wie insbesondere die Trennung in zwei getrennte Automationskonzepte (adaptiv und adaptierbar) zu einer Spezifizierung der Definitionen beigetragen hat.

Tabelle 1. Definitionen adaptiver und adaptierbarer Automation.

Beitrag	Adaptive Automation			Adaptierbare Automation		
Einführung des Konzepts	„adaptive automation“	durch Rouse	(1976)	„adaptable automation“	durch Oppermann	(1994)
Synonyme	„adaptive allocation“	Rouse	(1976)	„implicit control of adaptive automation“ Rieger & Greenstein (1983)		
	„explicit control of adaptive automation“	Rieger & Greenstein	(1983)			
	„adaptive aiding“	Rouse	(1988a, 1988b)			
	„adaptive task allocation“	Parasuraman, Mouloua & Molloy	(1996)			
	„adaptive function allocation“	Inagaki Parasuraman et al.	(2003) (1992)			
Unspezifische Definitionen <ul style="list-style-type: none"> - Adaptive Automation oft gleich gesetzt mit DFA - Sowohl Operateur, als auch Automation können Wechsel des LOA einleiten; oder: - Frage, wer den Wechsel initiiert: wird offen gelassen - Kriterien für den Wechsel sind insbesondere in kritischen (System-) Umständen, später auch Zuständen des Operateurs zu sehen - Delegation von Aufgaben zurück an den Operateur nicht vorgesehen 	Änderungen im Grad der Automatisierung können sowohl vom Bediener als auch vom System initiiert werden	Rouse Scerbo	(1976) (2006)			
	Änderungen zwischen Operateur und System werden in Echtzeit reguliert	Rouse Hilburn, Parasuraman & Mouloua	(1977) (1995)			
	Automation greift dann ein, wenn menschliche Leistung unterstützt werden muss, um Systemanforderungen zu genügen; ansonsten verbleibt Operateur manuell/ohne automatische Unterstützung „in the loop“	Rouse	(1988a)			
		Morrison & Gluckman	(1994)			
		Prinzel, Freeman, Scerbo, Mikulka & Pope	(2000)			
	Adaptive Automation bildet ergänzende, orthogonale Dimension zu den LOA; involviert Übergänge zwischen den LOA	Kaber & Endsley	(2004)			
		Parasuraman et al.	(1992)			
	Operateur behält weitestgehend die Kontrolle und wird durch adaptive Automation unterstützt, wenn Anforderungen das menschliche Vermögen übersteigen	Rouse	(1991)			
	Automatische Unterstützung wird dynamisch als Reaktion auf sich verändernde Missionsanforderungen aktiviert, um Workload, Fähigkeiten und Involvement des Operateurs zu regulieren	Parasuraman et al.	(1992)			
	Automation interveniert und übernimmt Autorität; ausschließlich Übernahme von Aufgaben durch Automation gemeint, Übergabe von Aufgaben zurück an den Operateur ist nicht vorgesehen	Rouse	(1994)			

	Kontrolle über Funktionen wechselt dynamisch zwischen Menschen und Maschinen, abhängig von Umweltfaktoren, Workload und Leistung	Inagaki	(2003)		
	Übergänge zwischen manueller und automatischer Kontrolle erfolgen in Echtzeit abhängig von Eigenschaften der Person und Situation	Lee & See	(2004)		
	Bei der adaptiven Automation oder DFA werden LOA oder die Anzahl automatischer Funktionen in Echtzeit abhängig von Zuständen des Operators oder Kontextinformationen so modifiziert, dass die menschliche Leistung davon profitiert	Kaber & Endsley	(2004)		
		Kaber et al.	(2005)		
		Kaber et al.	(2006)		
Spezifische Definitionen - enthalten Abgrenzung adaptiver von adaptierbarer Automation (adaptive Automation ist nicht gleichzusetzen mit DFA) - Automation initiiert Wechsel (adaptiv) oder Operator initiiert Wechsel (adaptierbar) - Kriterien insbesondere in Bedürfnissen und Zuständen des Operators zu sehen - Adaptiv schließt Übernahme und Übergabe von Aufgaben zurück an den Operator mit ein	Adaptives System kann seine Charakteristika automatisch an Bedürfnisse des Operators anpassen	Oppermann & Simm	(1994)	Adaptierbares System ermöglicht es dem Operator, Charakteristika des Systems anzupassen	Oppermann & Simm (1994)
	Adaptive Automation erlaubt beiden, Operateur und Automation, Veränderungen des Systemzustands herbeizuführen; Autorität über das Initiieren von Veränderungen wird geteilt	Scerbo	(2006)	In adaptierbaren Systemen werden Veränderungen des Systemzustands durch Operateure herbeigeführt	Scerbo (2006)
		Scallen et al.	(1995)		Sauer et al. (2013)
	Adaptive Automation wird durch das System selbst, basierend auf bestimmten Kriterien, eingeschaltet	de Visser et al.	(2008)	Adaptierbare Automation ist eine Automationsform, die durch den Operateur angepasst wird	de Visser et al. (2008)
	Automation entscheidet selbst über die Reallokation von Funktionen und damit darüber, wann es das LOA verändert	de Greef et al.	(2010)	Im Gegensatz zu adaptiver Automation entscheidet bei der adaptierbaren Automation der Operateur über die Reallokation von Funktionen	de Greef et al. (2010)
		Abbink et al.	(2012)		
	Adaptive Systeme können ihr Verhalten kontextangemessen bzw. bedürfnisgerecht anpassen und Aufgaben vom Operateur übernehmen, ohne dass dafür explizite Instruktionen des Operators notwendig sind	Feigh et al.	(2012)	Operateur kontrolliert Flexibilität	Miller, Funk, Goldman et al. (2005)
	Automation hat Autorität, zu entscheiden, ob Funktionen durch Mensch oder Automation ausgeführt werden	Sauer et al.	(2013)	Operateur hat Autorität, zu entscheiden, ob Funktionen durch Mensch oder Automation ausgeführt werden	Sauer et al. (2013)

Die bisherigen Definitionen leiden darunter, dass zumeist zwei Ebenen miteinander vermischt werden: die Kontroll- und die Autoritätsebene. Auf der Kontrollebene, das heißt auf Ebene der *Ausführung* von Aufgaben oder Teilaufgaben geht es um die gegenseitige, dynamische *Anpassung* von Automation und Operateur. Auf Autoritätsebene geht es dagegen um das *Initiieren* der Automation bzw. eines Wechsels der Automationsstufe, das heißt um das Einschalten bzw. Ausschalten der Automation. Entsprechend unterscheidet Wandke (2005) in seiner Klassifikation von Assistenzsystemen zwischen Anpassung (adaptiv und adaptierbar) und Initiation (aktiv/proaktiv, das heißt, die Automation schaltet sich selbst ein und aus; passiv, das heißt, der Operateur schaltet die Automation ein und aus; Kombination aus aktiv und/oder passiv, zum Beispiel Selbsteinschalten der Automation, die jedoch von dem Operateur wieder ausgeschaltet werden kann). In dieser Arbeit wird daher von folgenden Definitionen ausgegangen:

An der Trennung zwischen adaptivem und adaptierbarem Automationskonzept im Sinne von Oppermann (1994) wird festgehalten und diese beiden Konzepte zudem als die zwei zentralen Bestandteile kooperativer Automation verstanden. Die adaptive Automation wird somit eben nicht als Äquivalent zur DFA angesehen (siehe auch Diskussion bei Inagaki (2003)), sondern als ein Bestandteil dieser.

Dabei meint adaptiv in Übereinstimmung mit Wandke (2005) zunächst einmal die eigenständige Anpassung der Automation von spezifischen Parametern an Kontextfaktoren, wie zum Beispiel Zustände des Operateurs oder des Systems. Die adaptive Automation kann dann abhängig von der Autoritätsfrage, das heißt, abhängig davon, wie sie sich initiiert oder initiiert wird, näher beschrieben werden. Sie kann aktiv (selbst initiiert), passiv (vom Operateur induziert) oder aktiv und/oder passiv und/oder aktiv (von einem ein- und vom jeweils anderen ausschaltbar) sein. Für den letzten Fall wird somit entgegen Scerbo (2006) angenommen, dass das Einschalten *nicht* durch beide Akteure gemeinsam erfolgen kann, da dies in der Realität stets zu einem initialen Konflikt zwischen beiden Akteuren führen würde, der zunächst noch ausgehandelt werden muss. Möglich ist wie oben beschrieben, dass sich das System selbst einschaltet und durch den Operateur ausgeschaltet wird oder umgekehrt. Eine aktiv-adaptive Automation würde dann in Übereinstimmung mit de Greef et al. (2010) und entgegen Rouse (1994) nicht nur das eigenständige Aktivieren, sondern auch das Deaktivieren einer Automation (sowie die „dazwischen liegende“ Anpassung der Automation) bedeuten. Die Automation kann also Aufgaben nicht nur selbständig übernehmen,

sondern auch selbständig wieder an den Operateur zurückgeben. Adaptierbare Automation dagegen bedeutet in Anlehnung an Wandke (2005), dass Operateure die Automation nach ihren Bedürfnissen bzw. gemäß bestimmter Aufgaben, Situationen und Präferenzen durch Auswahl und Konfiguration bestimmter Parameter anpassen können. Ebenso wie bei adaptiven Automationskonzepten wird somit in Übereinstimmung mit Scerbo (2006) die Konfigurierbarkeit der Funktionen vorausgesetzt, um von adaptierbaren Konzepten sprechen zu können. Orientiert an Scerbo (2006) müssen adaptive und adaptierbare Konzepte zudem auch noch danach klassifiziert werden, ob die zugrunde liegenden Informationsdarbietungen und Funktionen selbst flexibel sind. Das bedeutet, Funktionen adaptiver und adaptierbarer Systeme wirken nicht statisch, sondern variabel im Sinne von zunehmender oder abnehmender Aktivität. Unter kooperative Automation fällt demnach der von Scerbo (2006) – wenn auch eigentlich unter dem Begriff der adaptiven Automation skizzierte – Fall, dass sowohl der Operateur das Automationsverhalten, als auch die Automation ihr eigenes Verhalten anpassen bzw. einen Wechsel des LOA herbeiführen können.

Die Frage ist dann, wie genau Operateur und Automation miteinander kommunizieren und sich Aufgaben einander übergeben können, so dass Workload und Situationsbewusstsein des Operators davon profitieren (Kaber et al., 2001) und die Interaktion effizient, effektiv, sicher und zufriedenstellend verläuft. Denn einerseits mögen adaptierbare Automationskonzepte dem Operateur mehr Flexibilität und adaptive Automationskonzepte Entlastung bieten und damit zu verbesserter Leistung im Vergleich zu statisch implementierter Automation führen (z. B. Hilburn, Molloy, Wong, & Parasuraman, 1993; Kaber et al., 2005). Andererseits kann die Konfiguration der adaptierbaren Automation gerade zu höherem Workload und das adaptive Einschalten der Automation zu mehr Unvorhersehbarkeit (Billings & Woods, 1994; Kapitel 1.2) und damit eingeschränktem Situationsbewusstsein beim Operateur führen. Die Leistungseinbußen sind dann unter Umständen gravierender als bei vollautomatischen Systemen (Miller & Parasuraman, 2007).

Als Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von adaptiven und adaptierbaren Konzepten fordern viele Autoren daher, dass sowohl Operateur als auch Automation ein Wissen über Handlungen und Leistung sowie Zustand und Intentionen des jeweils anderen haben müssen (Byrne & Parasuraman, 1996; de Visser et al., 2008; Miller & Parasuraman, 2007; Rouse, Geddes & Curry, 1987, Sarter, 2006). Solche Voraussetzungen müssen bereits in der Entwicklung der Automatikkonzepte bedacht

werden, um die oben beschriebenen, extremen Konsequenzen von vornherein ausbalancieren zu können (de Visser et al., 2008). Damit lässt sich eine wichtige, wenn auch in der Literatur noch zu vereinzelt geäußerte Forderung (z. B. Hoc, 2001; Nachtwei, 2011b) ableiten: die Rolle und die Leistung von Entwicklern muss mit berücksichtigt werden, wenn es darum geht, Operateure in ihrer Interaktion mit der Automation zu analysieren, zu verbessern und zu bewerten. Dabei ist es erstrebenswert, Entwickler nicht nur theoretisch, zum Beispiel in Form von Modellen oder Metaphern zu adressieren, sondern die Leistung von Entwicklern und Operateuren auch empirisch zueinander in Bezug zu setzen. Ein solcher, bisher kaum verbreiteter Ansatz, wird mit dem Forschungsprojekt ATEO – Arbeitsteilung Entwickler Operateur verfolgt. Auf dieses Projekt sowie die im Projekt entwickelte Simulationsumgebung, welche auch für diese Arbeit zentral ist, wird in Kapitel 3 eingegangen. Zuvor werden Erkenntnisse aus diesem Kapitel zusammengefasst und Konsequenzen im Hinblick auf theoretische und empirische Vorhaben dieser Arbeit gezogen.

2.2.3 Implikationen der Diskussion um Ansätze kooperativer Automation für diese Arbeit

Die hohe Anzahl an uneinheitlichen Definitionen von flexiblen bzw. adaptiven und adaptierbaren Automationskonzepten ist nicht nur auf theoretischer, sondern auch auf empirischer Ebene problematisch. Denn die uneindeutig beschriebenen und daher kaum trennscharf klassifizierbaren Automationskonzepte lassen sich entsprechend schwer für Untersuchungsansätze operationalisieren. Es herrscht somit ein großer Bedarf, unter der Vielzahl angebotener Definitionen Orientierung zu schaffen und – auch im Hinblick auf ein selbst angestrebtes empirisches Vorhaben zur Zusammenarbeit von Operateur und Automation – ein sicheres theoretisches Fundament zu entwickeln. Angestrebt wird ein theoretisches Rahmenmodell, das bereits bestehende theoretische und empirische Beiträge zur Zusammenarbeit von Operateur und Automation einbezieht. So kann eine fundierte Grundlage für das Einordnen und Abgrenzen von (statischen und flexiblen) Automationskonzepten sowie für das nachträgliche empirische Überprüfen solcher Automationskonzepte geschaffen werden. Das Anliegen wird in der Zielstellung dieser Arbeit (Kapitel 4) nochmals ausdifferenziert.

3. Von *Mensch vs. Maschine* hin zu *Operateur vs. Entwickler*:

Das Rahmenprojekt ATEO – Arbeitsteilung Entwickler

Operateur

Die Frage, wie Mensch und Automation in zunehmend komplexen großtechnischen Anlagen wie im Flugverkehr, in Kernkraftwerken, Flugzeugen, Militärsystemen und Krankenhäusern (Sheridan & Parasuraman, 2005) bestmöglich kooperieren können (Kapitel 2.2), stellt sowohl Entwickler einer Automatik, als auch den Operateur in der Interaktion eines automatischen, komplexen Systems vor neue Herausforderungen. Dabei ist die jeweilige Leistung von Entwicklern und Operateuren nicht unabhängig voneinander zu betrachten: Ob Operateure in der Lage sind, mit hochautomatischen Systemen zu interagieren, liegt immer auch in der Frage, wie (gut) Entwickler die Interaktion des Operators mit dem automatischen System bzw. mögliche kritische Situationen vorhergesehen und in der Entwicklung berücksichtigt haben (Kaber et al., 2001). Umgekehrt: Weil Entwickler eben niemals alle kritischen Situationen bei der Interaktion zwischen Operateur und Automation vorhersehen können, werden heute noch immer Operateure für die Prozessüberwachung und -führung benötigt (Kapitel 1.2).

Die Rolle und (vorherige) Leistung von Entwicklern stärker zu berücksichtigen, wenn es um die Analyse der Interaktion zwischen Operateur und Automation geht, wird in der Literatur daher zu Recht schon lange, wenn auch eher vereinzelt, gefordert (z. B. Bainbridge, 1983, 1988; Cummings & Thornburg, 2011; Hoc, 2001). So ist es heute als notwendig anzusehen und positiv zu bewerten, wenn theoretische Metaphern oder Modelle der Mensch-Automation-Interaktion mit dem expliziten Ziel konzipiert werden, Entwicklern ein verbessertes Abbild der Mensch-Technik-Interaktion zu ermöglichen (Gérard, Huber, Nachtwei, Schubert & Satriadarma, 2011; Nachtwei, 2011a; Parasuraman et al., 2000). Dabei sollten Autoren solcher Modelle und Metaphern die Entwickler nicht nur adressieren, sondern die Rolle von Entwicklern selbst modellieren, den Entwickler also als einen Bestandteil des Modells integrieren, wie es beispielsweise Flemisch et al. (2012) tun. Über die theoretischen Ansätze hinaus wird jedoch nur selten der eigentlich logische Folgeschritt getan, die Leistung von Entwicklern auch empirisch stärker zu berücksichtigen und in Studien zur Mensch-Automation-Interaktion mit einzubeziehen. Das Vorhaben, den Entwickler nicht nur theoretisch, sondern auch empirisch stärker in den Vordergrund zu rücken, wenn es um

die Gestaltung der Mensch-Automation-Interaktion geht, verfolgt das an der Humboldt-Universität zu Berlin angesiedelte Forschungsprojekt ATEO – Arbeitsteilung Entwickler Operateur. In diesem Projekt wird die Leistung von Entwicklern und Operateuren auf Basis einer eigens entwickelten Mikrowelt empirisch erfasst und indirekt miteinander verglichen. Die Idee (Kapitel 3.1), die Vorarbeiten (Kapitel 3.2) und der empirische Ansatz des Projekts (Kapitel 3.3) werden in den folgenden Abschnitten erläutert. Da der Fokus dieser Arbeit auf der Leistung von Operateuren liegt, sind die Abschnitte inhaltlich entsprechend auf diese Personengruppe ausgerichtet. Die Vorarbeiten und Ansätze zur Erfassung der Leistung von Entwicklern, welche den Prozess und kritische Ereignisse darin antizipieren müssen, um Automatikfunktionen zur Prozessüberwachung und -führung zu entwickeln, ist Teil einer Parallelarbeit (Niestroj, eingereicht).

3.1 Die Idee: Eine faire Berücksichtigung zweier Rollen in Mensch-Maschine-Systemen

„Since technology and automation are rapidly changing, it seems reasonable not to be fixed to the machine part in human-machine systems, but to turn towards the human developer of the machine.

(Wandke & Nachtwei, 2008, S. 2)

Die Leistung von Entwicklern auch empirisch stärker mit einzubeziehen, wenn es um die Betrachtung der Leistung bzw. der leistungsrelevanten Zustände von Operateuren geht (Kapitel 1.2), ist zentraler Ansatz des Forschungsprojekts ATEO – Arbeitsteilung Entwickler Operateur an der Humboldt-Universität zu Berlin. Mit diesem Projekt werden klassische Ansätze der Funktionsallokation, wie der kritische Stärken-Schwächen-Vergleich zwischen Mensch und Maschine (Kapitel 2.1.2), hinterfragt. Diese beruhen auf einer *synchronen* Perspektive auf die Mensch-Automation-Interaktion: Mensch und Automation, die zur gleichen Zeit unterschiedliche Funktionen ausführen. Stärken und Schwächen hinsichtlich bestimmter Funktionen werden zu ein und demselben Zeitpunkt ermittelt, um die Kontrolle von Funktionen je nach Überlegenheit entweder dem Menschen oder der Maschine zu übertragen. Weil jedoch die Kapazitäten und Fähigkeiten der Automation mit der Zeit bzw. dem technischen

Fortschritt stetig zunehmen (Sheridan, 2000), ist der Ausgang dieses Vergleichs stets abhängig von dem Stand der Technik. In diesem Stand der Technik konkretisiert sich das Wissen, welches Generationen von Entwicklern in die Ausreifung des technischen Systems investiert haben. Damit wird ein ums andere Mal deutlich, dass die Interaktion zwischen Mensch und Maschine auch noch von einer zweiten Menschengruppe beeinflusst wird: Maschinen werden nicht nur von Menschen (Operateuren) genutzt, sondern auch von Menschen (Entwicklern) konstruiert. Auf die Intelligenz dieser Entwickler, aber auch auf deren Unzuverlässigkeit (Bainbridge, 1983), sind die Fähigkeiten einer Maschine letztendlich zurückzuführen (Norman, 2007; Kapitel 1.2). Da jeder Entwickler dabei auf dem Wissen aufbaut, dass Generationen von Entwicklern vor ihm bereits in das technische System haben einfließen lassen, werden über Jahre zunehmend reliable Systeme entwickelt. Da die Kapazitäten des Menschen gegenüber denen der Automation mehr oder weniger konstant bleiben (Nachtwei, 2011a), wird die Automation dem Menschen möglicherweise in Bezug auf immer mehr Aufgaben überlegen sein. Ein Vergleich der Kapazitäten und Fähigkeiten von Mensch und Maschine zur selben Zeit im Sinne von Fitts (1951) scheint somit aufgrund der technischen Entwicklung hinfällig (Parasuraman et al., 2000) bzw. müsste ständig wiederholt werden. Statt Mensch (Operator) gegen Maschine antreten zu lassen, erscheint es demnach weitaus sinnvoller und fairer, diesen „zweiten Menschen“ – den Entwickler automatischer Systeme – mit einzubeziehen und eine andere, *asynchrone* Perspektive auf die Funktionsallokation einzunehmen (Wandke & Nachtwei, 2008). Dabei führen zwei Menschen in unterschiedlichen Rollen unterschiedliche Funktionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus: der Entwickler zum Zeitpunkt t , der Operator zum späteren Zeitpunkt t_{+i} . Damit liegt das Kernproblem nicht mehr in einer Verteilung von Funktionen an Automation vs. Operator, sondern in einer vergessenen Frage (Wandke & Nachtwei, 2008): Wie gut können Entwickler die Interaktion zwischen Automation und Operator vorhersehen? Bzw.: Wie gut können Entwickler prospektiv mit zukünftigen Ereignissen umgehen, im Vergleich zum Umgang von Operateuren, welche mit demselben Ereignis in Echtzeit konfrontiert werden?

Zur Beantwortung derartiger Fragestellungen wird im Projekt ATEO die Leistung beider Personengruppen – Operateure und Entwickler – als vergleichbar angesehen. Die somit zugrunde liegende Idee, die Leistung von Entwicklern noch stärker zu beleuchten, ist nicht neu, sondern geht auf Bainbridge (1983) zurück (Kapitel 1.2). Die Neuigkeit und Besonderheit des Forschungsansatzes im Projekt ATEO ist dagegen die *empirische*

Analyse der Leistung beider Personengruppen. Ziel ist es, die Leistung von Operateuren und Entwicklern jeweils in Abhängigkeit von deren unterschiedlichen Ressourcen bzw. Rahmenbedingungen zu untersuchen und dann zueinander in Bezug zu setzen. Die beobachtete Leistung von Operateuren in der Interaktion mit Automation sollte immer auch anhand der vorherigen Leistung (und den diese Leistung beeinflussenden Ressourcen) von Entwicklern erklärt werden können. Umgekehrt sollte ausgehend von den Ressourcen der Entwickler einerseits auf deren Leistung selbst sowie andererseits auf die Leistung von Operateuren geschlossen werden können. Um derart direkte Schlüsse ziehen bzw. die Leistung von Operateuren und Entwicklern empirisch miteinander vergleichbar zu machen, ist es notwendig, ein und dasselbe Bezugssystem, eine Art Spielfeld zu nutzen, was es Entwicklern und Operateuren gleichermaßen erlaubt, ihre Leistung zu zeigen und zu vergleichen. Im Rahmen des ATEO-Projekts wurde dafür eigens die Simulation eines komplexen, dynamischen Prozesses entwickelt, welcher durch eine kooperative Trackingaufgabe zweier Probanden repräsentiert und in Kapitel 3.3 beschrieben wird. Entwickler müssen diesen Prozess bzw. die Verhaltensweisen der beiden kooperativ agierenden Probanden antizipieren und geeignete Automatikfunktionen entwickeln, um den Prozess zu kontrollieren bzw. dessen Geschwindigkeit und Genauigkeit zu verbessern. Operateure haben die Aufgabe, den Prozess in Echtzeit so zu überwachen und zu führen, dass Geschwindigkeit und Genauigkeit verbessert werden können. Die Leistung der von Entwicklern konzipierten Automatikfunktionen und die Leistung der Operateure können am Ende direkt miteinander verglichen werden. Somit wird zur Verwirklichung der Grundidee des ATEO-Projekts, die Leistung von Entwicklern und Operateuren miteinander zu vergleichen, zunächst wieder auf den oben kritisierten, traditionellen Ansatz des synchronen Mensch-Automation-Vergleichs im Sinne von Fitts (1951) zurückgegriffen. Denn in der Tat wird hier zunächst ein Vergleich der „Produkte“ vorgenommen, indem die Leistung (Optimierung der Fehler und Zeiten des kooperativen Trackings) von Automatikfunktionen derjenigen von Operateuren gegenüber gestellt wird. Der Unterschied zu traditionellen Vergleichen liegt jedoch in der systematischen Begleitung und Kontrolle des Entwicklungsprozesses dieser Automatikfunktionen. Die Kontrolle des Entwicklungsprozesses erlaubt es, von der Produktleistung auf die Produktentstehung zu schließen und die Produktentstehung auch direkt zu beobachten. Somit können Stärken und Schwächen der Automation indirekt auf die Leistung bzw. Rahmenbedingungen der zuständigen Entwickler zurückgeführt werden. Dies gilt

beispielsweise auch für den dieser Arbeit zugrunde liegenden Entwicklungsprozess. In diesem wurden spezifische Automatikfunktionen, im konkreten Fall nicht zur Gegenüberstellung, sondern zur Kooperation bzw. Unterstützung des Operators konzipiert. Die Entwicklung der Automatikfunktionen war geprägt durch Herausforderungen, wie zum Beispiel inhaltliche oder technische Probleme, offene Fragen oder Entscheidungen, die während des Prozesses gefällt werden mussten. Die aktive Begleitung jenes Entwicklungsprozesses erlaubt es nun, zentrale empirische Ergebnisse dieser Arbeit im Hinblick auf eben solche Herausforderungen zu diskutieren. Die Leistung von Operateuren in der Zusammenarbeit mit den entwickelten Automatikfunktionen kann somit in Teilen immer auch durch die Rahmenbedingungen des Entwicklungsprozesses selbst erklärt werden. Die Möglichkeit, die Leistung von Operateuren und Entwicklern empirisch anhand ein und derselben Simulationsumgebung zu betrachten und von der Leistung der Automation indirekt auf die "dahinter stehende" Leistung von Entwicklern schließen zu können, stellt eine Neuigkeit und den Mehrwert des ATEO-Projekts dar.

3.2 Die Vorarbeiten: Von der manuellen zur teilautomatischen Prozessüberwachung und -führung von Operateuren

„All these features lead us to consider that human-machine cooperation can be considered as a cooperation between the designer and the user.“

(Hoc, 2001, S. 533)

Das Projekt ATEO blickt auf eine neun Jahre andauernde Forschungsperiode zurück, in welcher die für das Projekt zentrale Simulationsumgebung (Kapitel 3.3) konstant weiterentwickelt und unterschiedliche empirische Studien mit Entwicklern und Operateuren durchgeführt wurden. Jede der insgesamt drei Projektphasen wurde von zwei Doktoranden betreut, die sich der Perspektive von Entwicklern bzw. von Operateuren widmeten. Diese Arbeit ist Teil der dritten und letzten Projektphase und widmet sich der Operateursperspektive. Entsprechend werden die direkten Vorarbeiten mit dem Fokus auf Ressourcen und Leistung von Operateuren geschildert. Vorarbeiten zu Ressourcen und Leistung von Entwicklern finden sich in der parallel verfassten Dissertation zur Entwicklerperspektive (Niestroj, eingereicht).

In den ersten beiden dreijährigen Phasen des ATEO-Projekts (Jahre 2004-2007 und Jahre 2007-2010) wurde angestrebt, Ressourcen von Entwicklern und Operateuren zu identifizieren und – auf Basis derselben Simulationsumgebung – empirisch miteinander zu vergleichen (Krinner & Groß, 2005; Nachtwei, 2011a). Auf welche Ressourcen können sowohl Entwickler als auch Operateure zurückgreifen, um die Operateur-Automatik-Interaktion zu antizipieren bzw. tatsächlich in Echtzeit mit der Automation zu interagieren? Als zentrale, gemeinsame Ressourcen, die sowohl für Entwickler als auch für Operateure relevant sind, wurden *Zeit* und *Informationen* identifiziert: Entwickler benötigen Zeit zum Problemlösen, für die Konzeption und Implementation (Nachtwei, 2011b). Auch für Operateure ist die Zeit wichtig (Boussemart & Cummings, 2011), jedoch oft nur extrem knapp, um wahrzunehmen, zu entscheiden (Endsley, 1995) und Handlungen auszuführen (Kapitel 1.2). Daneben hängt die Leistung beider Personengruppen von der Menge an Informationen ab, die für die Entwicklung automatischer Systeme bzw. für die Interaktion mit den automatischen Systemen zur Verfügung steht oder anfällt. Sowohl zu wenige als auch zu viele Informationen können der Leistung in beiden Fällen schaden. Bei Operateuren wird der negative Einfluss von zu wenig bzw. zu viel Informationen auf die Leistung auch nach Woods (1984) und Woods, Patterson und Roth (2002) als "Keyhole"-Effekt bzw. "Clutter"-Effekt beschrieben (Nachtwei, 2011b, S. 8). Ähnliche Effekte lassen sich auch bei Entwicklern beobachten: so führt zu wenig Information bei diesen zu eingeschränkter Effektivität und geringerer Zufriedenheit (Lif, 1999). Bei der experimentellen Variation ist zu beachten, dass beide Variablen, Zeit und Informationsmenge, nicht unabhängig voneinander sind. Bei der Prozessüberwachung und -führung in komplexen, dynamischen Kontexten nimmt die relative Menge an Informationen mit der Abnahme von Zeit zu (Gonzalez, 2004). Aus diesem Grund wurde in Studien zur Leistung von Operateuren und Entwicklern während der ersten beiden Projektphasen die Zeit konstant gehalten und die Menge an Informationen variiert (Nachtwei, 2011b). Um den Vergleich der Ressourcen von Operateuren und Entwicklern auf Basis desselben empirischen Bezugssystems durchführen zu können, wurde im Projektverlauf eine spezifische Simulationsumgebung entwickelt. In der ersten Phase wurde der Grundstein für die heute eingesetzte Simulationsumgebung gelegt und diese in der zweiten Projektphase systematisch ausgebaut. Eine eigene Mikrowelt wurde entwickelt, in welche eine soziale Komponente, das kooperative Tracking zweier Personen, integriert wurde (Wandke & Nachtwei, 2008). Diese

kooperative Trackingaufgabe verkörpert einen komplexen, dynamischen Closed-Loop-Prozess. Zudem wurde in der zweiten Projektphase der zweite Bestandteil der Simulationsumgebung, ein spezifisches Interface, als Open-Loop-Komponente konzipiert (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht). Mithilfe dieses Interfaces sollte einer dritten Person, dem Operateur, ermöglicht werden, den kooperativen Trackingprozess zu überwachen und zu optimieren. Das Interface repräsentiert somit die Ressource Information, welche Operateuren bei der Prozessüberwachung und -führung zur Verfügung steht. Die experimentelle Variation der Informationsmenge wurde durch unterschiedliche Ausbaustufen des Interfaces realisiert (ein Prototyp sowie drei iterativ erweiterte Versionen des Interfaces). Diese werden ausführlich bei Nachtwei (2011b) und von Bernstorff und Nachtwei (eingereicht) beschrieben. Neben der externen Ressource Information wurden in der zweiten Projektphase auch interne Ressourcen, wie Wissen oder Persönlichkeitsmerkmale, untersucht, die als sogenannte „Performance Shaping Factors“ (Gérard et al., 2011, S. 17; Meyer, 2009, S. 20) die Leistung von Operateuren mit beeinflussen. Das Ergebnis der zweiten Projektphase ist eine einsatzfähige Simulationsumgebung aus zwei Komponenten: einer Mikrowelt, mit welcher ein komplexer, dynamischer Prozess simuliert wird, und einem sorgfältig entwickelten und validierten User Interface. Beide Komponenten werden gemeinsam als ATEO Lab System bezeichnet und ausführlich in Kapitel 7 beschrieben. Das User-Interface wurde in umfangreichen Studien getestet und erlaubt vielschichtige und höchst wertvolle Aussagen über den Einfluss von Informationsmenge (und weiteren internen Ressourcen) auf die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren. Da in der zweiten Projektphase noch keine Ergebnisse zur Leistung von Entwicklern vorlagen, steht der angestrebte Leistungsvergleich von Operateuren und Entwicklern noch aus und wird mit der Parallelarbeit (Niestroj, eingereicht) geliefert. Dabei wird der Operateur durch ein – von Entwicklern in unterschiedlichen Bedingungen konzipiertes Automatikkonzept – ersetzt, das an seiner statt die Prozessüberwachung und -führung des kooperativen Trackingprozesses übernimmt.

In der dritten – mit diesem Dissertationsvorhaben verfolgten – ATEO-Projektphase (Jahre 2010-2013) geht es nicht mehr (nur) um eine separate Betrachtung von Entwicklern und Operateuren, sondern gerade um die Betrachtung der Koexistenz von Operateur und (der von Entwicklern konzipierten) Automation (Sheridan & Parasuraman, 2005). Der Einzug kooperativer Automation (Kapitel 2.2) soll bei Operateuren Probleme wie OOTLUF (Kapitel 1.2) und Complacency, verringertes

Situationsbewusstsein und den Verlust von Fähig- und Fertigkeiten verhindern, stellt jedoch sowohl Entwickler als auch Operateure vor neue Herausforderungen. Die Frage ist, wie gut Entwickler die dynamische Zusammenarbeit von Operateur und Automation im Vorhinein antizipiert haben (Kapitel 1.2). Anders formuliert: Welche Rückschlüsse lassen sich von der Leistung der Operateure, die dynamisch mit der Automation zusammenarbeiten, auf die vorherige Leistung von Entwicklern dieser Automation ziehen? Diverse offene Fragen bestehen im Hinblick auf die Implementation kooperativer Automationsformen: Wer soll wie und wann genau welche Funktionen ausführen und anhand von welchen Kriterien (Sheridan & Parasuraman, 2005) das LOA verändern können (Sauer, Kao & Wastell, 2012)? Neben Annahmen darüber, wer theoretisch einen Wechsel vornehmen könnte (Flemisch et al., 2012; Wickens & Hollands, 2000; Kapitel 2.2.2), ist bisher empirisch noch nicht geklärt, wie sich Operateur- vs. Automation-induzierte Wechsel tatsächlich auf die Prozessführungsleistung auswirken (von Bernstorff & Nachtwei, 2013). Mit dieser Dissertation wird folglich angestrebt, Formen kooperativer Automation nicht nur theoretisch zu diskutieren, sondern auch empirisch in ihrem Effekt auf die Leistung zu überprüfen (Kapitel 4). Die experimentelle Variation bezieht sich nun nicht mehr auf die Menge an Informationen im Sinne von der Anzahl an Funktionen im Interface, sondern auf das LOA (Sheridan & Verplank, 1978) bzw. die Art der Wechsel von LOA, zum Beispiel Operateur- vs. Automation-induziert. Den Ausgang bilden die erwähnten Studien aus der zweiten Projektphase, in welcher die *manuelle* Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren abhängig von unterschiedlichen Informationsmengen (Ausbaustufen des Interfaces) untersucht wurde (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht). Diese Ausgangsbedingung ist vergleichbar mit dem LOA 1 bei Sheridan und Verplank (1978), auf welchem der Operateur noch keine automatische Unterstützung bei der Prozessüberwachung und -führung nutzt. Eine Erweiterung der Simulationsumgebung um (teil-)automatische Funktionen ermöglicht es, (nach und nach) auch höhere LOA bzw. unterschiedliche Möglichkeiten für dynamische Wechsel des LOA zu untersuchen. Die jeweils direkte Vergleichbarkeit jeder Folgebedingung zur Ausgangsvariation (manuelle Prozessüberwachung und -führung) stellt dabei den großen Reiz des iterativen Vorgehens dar. Denn jeder auftretende oder ausbleibende Effekt auf die Leistung kann so gezielt auf die Bedingungsvariation zurückgeführt werden, anstatt auf das Wirken von (unkontrollierten) Drittvariablen. Letztere sind sicherlich eine häufige Ursache dafür, dass sich in der Literatur bisher inkonsistente

Effekte von adaptiven und adaptierbaren Automationsformen auf die Leistung von Operateuren finden lassen (von Bernstorff, Stade & Nachtwei, 2012). In dieser dritten Forschungsphase des ATEO-Projekts wurde somit die zentrale Simulationsumgebung um teilautomatische Funktionen erweitert (Kapitel 7.2.3). Diese ermöglichen es, zunächst den einfachsten Fall einer Mensch-Automation-Interaktion (Kienle, Damböck, Kelsch, Flemisch & Bengler, 2009) unter der systematischen Berücksichtigung möglicher Moderatorvariablen zu untersuchen: das Einschalten und Ausschalten von (nicht flexiblen) Automatikfunktionen durch den Operateur. Ergebnisse dieser Studie erlauben, wie in Kapitel 3.1 angedacht, indirekte Rückschlüsse auf die vorherige Leistung der Entwickler (dieser teilautomatischen Funktionen) sowie das Ableiten zukünftiger empirischer Ansätze.

3.3 Die Umsetzung: Ein empirischer Vergleich der Leistung von Operateuren und Entwicklern mithilfe desselben Bezugssystems: Die Socially Augmented Microworld (SAM)

„So the main goal is to improve function allocation of human and machine by examining the potentials and deficiencies of the human operator and the developer of automation functions in the field of supervisory control.“

(Nachtwei, 2011a, S. 3)

Inwiefern lässt sich nun die Leistung von Entwicklern und Operateuren automatischer Systeme empirisch und fair zueinander in Bezug setzen? Inwiefern lassen sich von der beobachteten Leistung von Operateuren in der Interaktion mit der Automation Rückschlüsse auf die vorherige Leistung von Entwicklern dieser Automation ziehen? Zur Beantwortung dieser Fragestellung bestand das Hauptziel des Forschungsprojekts ATEO darin, ein empirisches Bezugssystem zu entwickeln, welches von Operateuren sowie zugleich von (durch Entwickler konzipierte) Automatikfunktionen überwacht und geführt werden konnte. Gründe für die eigenständige Entwicklung einer Simulationsumgebung sind darin zu sehen, dass bestehende Laborumgebungen – üblicherweise Mikrowelten – zur Simulation von realen Prozessüberwachungs- und -führungskontexten als zu wenig oder zu komplex

eingestuft worden waren, um eine reale Herausforderung für Entwickler und Operateure darzustellen (Nachtwei, 2011b).

Mikrowelten gehören zu einem in der Human Factors Forschung zunehmend beliebten Forschungsansatz (Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2008; Sapateiro, Ferreira & Antunes, 2011), um die Leistung von Operateuren zu untersuchen. Weil Operateure sich in der Realität in komplexen, beanspruchenden Kontexten bewegen, wird deren Verhalten von multiplen Faktoren beeinflusst (Gérard et al., 2011). Die realitätsnahe Analyse und Vorhersage der Leistung von Operateuren erfordert daher Versuchsbedingungen, die sich an den Eigenschaften tatsächlicher Prozessüberwachung- und -führung orientieren. Mikrowelten, welche komplexe, dynamische Prozesse unter kontrollierten Bedingungen simulieren (DiFonzo, Hantula & Bordia, 1998), gelten hierbei als Methode der Wahl. Im Vergleich zu herkömmlichen Laborumgebungen bringen sie komplexere Aufgabenstellungen mit sich (Manzey, Reichenbach & Onnasch, 2012) und sind damit besser geeignet, reale Anforderungen an Operateure annähernd abzubilden und eine vergleichsweise hohe Varianzaufklärung dieser multideterminierten Leistung zu erzielen (Burkhard et al., 2011). Etablierte Beispiele sind die Mikrowelten WPP (Water Purification Plant; Gonzalez, Lerch & Lebiere, 2003), CAMS (Cabin Air Management System; Sauer, Wastell & Hockey, 2000) bzw. AUTO-CAMS (Manzey, Bleil et al., 2008). Traditionelle Mikrowelten leiden jedoch oftmals unter entweder deterministischem oder stochastischem Charakter. Das heißt, die zugrunde liegenden Prozesse sind entweder gut vorhersehbar und damit insbesondere für Entwickler leicht zu durchschauen. Oder die Antizipation von Ereignissen ist, im Fall einer integrierten Zufallskomponente, gar unmöglich (Gross & Nachtwei, 2007). In beiden Fällen ist die ökologische Validität, das heißt, die realitätsnahe Abbildung komplexer, dynamischer Prozesse, nur bedingt gegeben. Denn die reale Prozessüberwachung und -führung zeichnet sich dadurch aus, dass Situationen und Zwischenfälle aufgrund einer Verkettung von kausalen Ursachen oft subjektiv von Operateuren (oder Entwicklern) nicht vorhergesehen wurden. Tatsächlich sind Ereignisse im Nachhinein jedoch gut erklärbar, da sie eben auf diese kausalen Ursachen zurückzuführen sind. So war das Sinken der „HMS Titanic“ von Entwicklern nicht erwartet worden, die zugrunde liegenden Ursachen konnten jedoch im Nachgang systematisch aufgeklärt werden. Um demnach die Realität möglichst adäquat zu simulieren, sollte es Entwicklern nicht zu leicht, aber auch nicht zu schwer gemacht werden, Automatikfunktionen zur Prozessüberwachung und -führung zu konzipieren.

Dasselbe gilt für Operateure: Auch sie sollten bei der Prozessüberwachung und -führung realitätsnahen Anforderungen ausgesetzt sein und somit den komplexen, dynamischen Prozess nicht komplett vorhersehen können.

Des Weiteren wird bisher nur in wenigen Mikroweltansätzen die Interaktion zwischen Operateuren berücksichtigt. Soziale Interaktion hat einen zunehmenden Stellenwert in Kontexten realer Prozesskontrolle eingenommen (Sasou & Reason, 1999), da aufgrund zunehmender Teamgröße in Mensch-Maschine-Systemen auch stärker kommuniziert und kooperiert werden muss. Dabei sorgt Kooperation einerseits für das Bewältigen von Problemen in modernen Systemen (Mathieu, Heffner, Goodwin, Salas & Cannon-Bowers, 2000). Andererseits sorgt Kooperation für Komplexität, weil mit ihr die Wahrscheinlichkeit für Misskommunikation erhöht wird, welche wiederum zu Unfällen führen kann (Corradini & Cacciari, 2002; Wickens & Hollands 2000). Anstelle der Simulation von Ein-Mensch-eine-Maschine-Systemen, wie es klassische Mikrowelten tun, sollten heute also eher Menschen-Maschinen-Systeme (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht) simuliert werden und dabei zwischenmenschliche Kooperation, als Quelle für zusätzliche Komplexität, systematisch mit in Untersuchungen einbeziehen.

Mit dem Ziel, derart zentrale Eigenschaften (diskutiert bei Wandke & Nachtwei (2008)) eines komplexen, dynamischen Prozesses möglichst realitätsnah abzubilden, wurde der klassische Mikroweltansatz (Brehmer & Dörner, 1993) um eine soziale Komponente erweitert und die Umgebung daher als Socially Augmented Microworld (SAM) bezeichnet. Die SAM stellt einen zentralen Bestandteil der in dieser Arbeit verwendeten Versuchsumgebung dar. Ihr Aufbau, die Instruktionen und der Versuchsablauf werden im Detail im Methodenteil (Kapitel 7) dargestellt. In der SAM führen zwei Probanden eine kooperative Fahraufgabe basierend auf der *Pursuit Tracking Task* – eine in der Human Factors Forschung häufig und seit langem angewandte Aufgabe (z. B. Miyake, Loslever & Hancock, 2001; Viviani, Campadelli & Mounoud, 1987) – aus. (Das kooperative Tracking beinhaltet dabei genau genommen neben der Spurhaltung auch das Manövrieren (Anfahren, Beenden sowie Ausweichen) und Navigieren (Weg finden und Entscheidungen bei Abzweigungen treffen). Hier wird jedoch, analog zu bisherigen Studien und Publikationen, von kooperativer Trackingaufgabe gesprochen). Mithilfe von Joysticks wird jeder der beiden Personen ein Steuerungsanteil von 50% ermöglicht, das heißt die zwei Personen *teilen* sich die Steuerung eines Fahrobjects. Dieses Fahrobject muss dabei möglichst genau und

schnell entlang zunehmend komplexer virtueller Strecken auf einem Monitor vor ihnen gesteuert werden. Beide Personen werden dabei als Bestandteile der Mikrowelt verstanden, ähnlich wie Mikroprozessoren Teil eines realen technischen Systems sind (Wandke & Nachtwei, 2008). In Studien mit der SAM bzw. dem ATEO Lab System werden die zwei Personen (daher) üblicherweise als Mikroweltbewohner (z. B. von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht; Wandke & Nachtwei, 2008) oder, wie auch in dieser Arbeit, als Navigatoren (von Bernstorff et al., 2012; von Bernstorff & Nachtwei, 2013) bezeichnet. Beide Navigatoren werden unterschiedlich instruiert, indem Navigator 1 vor allem schnell, dabei jedoch auch genau und Navigator 2 vor allem genau, dabei jedoch auch schnell fahren soll. Während des gesamten Versuchsablaufs dürfen beide Navigatoren nicht miteinander kommunizieren.

Das kooperative Tracking der beiden Navigatoren repräsentiert einen komplexen, dynamischen Prozess, dessen Optimierung eine reale Herausforderung für Operateure und Entwickler und somit das benötigte adäquate Spielfeld für deren Leistungsvergleich (Kapitel 3.1) darstellt: Aufgrund der erforderlichen Kooperation (bedingt durch den verteilten Steuerungsanteil beider Personen), aufgrund des inhärenten Zielkonflikts beider Navigatoren sowie aufgrund des Schwierigkeitsgrads der zu befahrenden Strecke, wird die Komplexität bzw. Antizipierbarkeit des kooperativen Trackingprozesses im Sinne einer hohen ökologischen Validität gesteigert. Somit wird der Schwierigkeitsgrad der Prozessüberwachung und -führung einerseits für einen Operateur erhöht, der die Aufgabe hat, das kooperative Tracking durch Prozessüberwachung und -führung selbst in Echtzeit zu optimieren. Er soll mithilfe eines Interfaces zum einen Fehler und Zeiten des kooperativen Trackings minimieren und zugleich die Anstrengung der beiden Navigatoren reduzieren bzw. optimieren. Andererseits stellt dieser komplexe, dynamische Prozess auch eine Herausforderung für Entwickler dar, welche Automatikfunktionen zur Prozessüberwachung und -führung konzipieren sollen. Der kooperative Trackingprozess ist auf den ersten Blick wenig durchschaubar, jedoch im Nachhinein gut – durch Fehler und Konflikte der beiden Navigatoren – erklärbar (Wandke & Nachtwei, 2008). Dazu trägt auch die Art der Messung von SAM-relevanten Informationen bei: Geschwindigkeit und Genauigkeit des Trackings werden mit einer Auflösung von 39 Millisekunden über Logfiles erfasst. Dies erlaubt eine identische, objektive und hoch reliable Messung der Leistung von Operateuren und Entwicklern, welche die Aufgabe haben, den komplexen, dynamischen Prozess zu optimieren. Fehler und Zeiten der beiden kooperativ steuernden Navigatoren

werden – einmal unterstützt durch die Automation und ein anderes Mal unterstützt durch einen Operateur – erhoben. So kann die Leistung der in Echtzeit agierenden Operateure direkt mit der Leistung der von Entwicklern konzipierten Automatikfunktionen (und somit indirekt mit der Leistung dieser Entwickler) verglichen werden.

In dieser Arbeit liegt der Fokus dabei nahezu ausschließlich auf der Prozessoptimierung durch Operateure (Kapitel 3.2). Wie genau bzw. mit welchem Hilfsmittel die Operateure den komplexen, dynamischen Prozess überwachen und führen können, wurde systematisch in der vorangegangenen zweiten Phase des Projekts ATEO (Nachtwei, 2011b) ausgearbeitet. Das Resultat ist ein sogenanntes ATEO Master Display, ein spezifisches Interface, welches Probanden in der Rolle von Operateuren einen Zugang zu SAM, das heißt dem komplexen, dynamischen Prozess, ermöglicht. SAM und das ATEO Master Display repräsentieren gemeinsam eine Simulationsumgebung, das sogenannte ATEO Lab System, die es erlaubt, das Verhalten bzw. die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren zu analysieren und zu manipulieren. Diese Prozessüberwachungs- und -führungsleistung des Operateurs stellt somit genau genommen eine Teamleistung des Operateurs und der beiden Navigatoren dar. Denn Operateure beeinflussen mithilfe von Hinweisen und Eingriffen im ATEO Master Display die kooperative Trackingleistung der beiden Navigatoren. Insofern lässt sich die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren auch durch Fehler und Zeiten des kooperativen Trackings messen. Auf die genaue Aufgabe des Operateurs und den Aufbau des ATEO Master Displays wird in Kapitel 7 eingegangen. Zuvor werden in Kapitel 4 die theoretischen und empirischen Zielstellungen dieser Arbeit dargelegt und die daran angelehnte Struktur der Folgekapitel erläutert.

4. Zielstellung dieser Arbeit

Mit den vorherigen Kapiteln wurde ein Überblick zu theoretischen und praktischen Erkenntnissen geliefert, welche die (dynamische) Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation betreffen. Hinsichtlich der heutzutage favorisierten Automatisierungsstrategie der kooperativen Automation wurden zentrale Probleme identifiziert und diskutiert, die sich sowohl auf die theoretische Fundierung von Konzepten kooperativer Automation, als auch auf die empirische Umsetzung beziehen. Die große Anzahl uneinheitlicher Definitionen von flexiblen Automationskonzepten ist als eine grundlegende Herausforderung sowohl für die theoretische Diskussion solcher Konzepte selbst als auch für empirische Überprüfungen solcher Konzepte zu sehen. In der Literatur macht sich dies in einer Vielzahl unterschiedlicher Definitionen sowie (dadurch) in einer höchst heterogenen Operationalisierung solcher Konzepte bei empirischen Studien bemerkbar. Dies erschwert – zusätzlich zur ohnehin hohen Kontextabhängigkeit von Studien im Bereich Human Factors – die Bewertung von Befunden zur Auswirkung von Automationsstufen auf die Leistung oder leistungsrelevante Zustände von Operateuren. Der Erfolg unterschiedlicher Kooperationsformen zwischen Operateuren und Automation lässt sich so nur schwer abschätzen. Hinzu kommt, dass die Überprüfung und Bewertung solcher Kooperationsformen noch immer zu stark auf (Fehl-)verhaltensweisen von Operateuren abzielt (Kapitel 1.1). Zu selten wird auch die Leistung von Entwicklern der Automation berücksichtigt, die jedoch ebenfalls maßgeblich zum Erfolg oder Misserfolg einer Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation beiträgt. Zur Lösung dieser Probleme will die Arbeit sowohl einen theoretischen als auch einen empirischen Beitrag liefern, um den Weg für einen zukünftig systematischeren Diskurs zur kooperativen Automation sowie durchdachte Implementierungen von flexiblen Automationskonzepten zu bereiten. Ob und wie dieses Ziel erreicht wurde, wird am Ende dieser Arbeit (Kapitel 9) diskutiert.

4.1 Theoretischer Beitrag: Klassifikation von Formen der Kooperation anhand von *Autorität* und *Kontrolle*

Der bis heute bestehenden Konfusion bei der Definition und Klassifikation flexibler Automationskonzepte (Scerbo, 2006) bzw. Kooperationsformen (Kapitel

2.2.2) soll mit einem eigenen Rahmenmodell begegnet werden, das zentrale Aspekte der dynamischen Kooperation, nämlich Autorität und Kontrolle, von Operateuren und Automation zueinander ins Verhältnis setzt. Aspekte wie Autorität und Kontrolle werden in der Literatur angeführt, um die Rolle von Operateur und Automation näher zu beschreiben. Bisher nutzen aber nur wenige (z. B. Flemisch et al., 2012) diese Aspekte systematisch für die Charakterisierung der Kooperation von Operateur und Automation. Das Rahmenmodell soll eine solche systematische Ableitung und Einordnung spezifischer Formen der Kooperation erlauben. Als Grundlage für die Entwicklung dieses Rahmenmodells werden zunächst etablierte Modelle der Zusammenarbeit von Operateur und Automation ausführlich diskutiert und anhand relevanter Fragestellungen der dynamischen Funktionsallokation bewertet. Beiträge dieser Modelle sowie offene Fragen, die im Zuge der Diskussion der Modelle identifiziert werden konnten, bilden das Fundament für die Entwicklung eines eigenen Rahmenmodells bzw. für die Ableitung eindeutiger, trennscharfer Formen der Kooperation von Operateur und Automation. Dieser theoretische Beitrag wird in der Arbeit durch Kapitel 5 repräsentiert.

4.2 Empirischer Beitrag: Untersuchung zu Auswirkungen einer spezifischen Kooperationsform auf Basis des (technisch erweiterten) ATEO Lab Systems

Mithilfe konkret definierter Formen der Kooperation von Operateur und Automation wird auch ein sauberer Brückenschlag zu empirischen Untersuchungen möglich, beispielsweise, weil sich Automatikkonzepte auf Basis der spezifischen Kooperationsformen besser operationalisieren und spätere Effekte somit besser vergleichen lassen. Im Vergleich zu den meisten empirischen Ansätzen, in denen mehrere (jeweils unterschiedlich operationalisierte) Automationskonzepte und -stufen zugleich variiert und überprüft werden, wird in dieser Arbeit ein iteratives Vorgehen propagiert und verfolgt, um Automationskonzepte bzw. die theoretisch abgeleiteten Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation zu untersuchen. Mithilfe des (sukzessiv erweiterten) ATEO Lab Systems können die Kooperationsformen Schritt für Schritt in ihrem Effekt auf die Leistung und auf leistungsrelevante Zustände des Operateurs (und der Navigatoren) überprüft werden, wobei Kontext- bzw.

Versuchsbedingungen sowie Auswahl und Operationalisierung der wesentlichen Leistungskriterien konstant gehalten werden. Jede Form der Kooperation kann dabei mit der Leistung von Operateuren in einer Baseline-Bedingung verglichen werden, in der Operateure im ATEO Lab System eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvierten, das heißt nicht mit einer Automation kooperieren konnten (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht; Nachtwei, 2011b). Ermittelte Effekte einer Kooperationsform auf Leistung und leistungsrelevante Zustände sind so mit Sicherheit auf die experimentelle Variation zurückführbar und zudem annähernd vergleichbar mit Effekten anderer Kooperationsformen. Mithilfe einer empirischen Studie soll im Rahmen dieses iterativen Vorgehens eine erste Kooperationsform selbst überprüft und damit auch ein eigener, empirischer Beitrag zur Bewertung der Kooperationsform geliefert werden. Dieser Beitrag wird in Form der Kapitel 6, 7 und 8 geliefert.

Als zentrale Voraussetzung für die Durchführung der empirischen Studie musste zunächst das ATEO Lab System technisch erweitert werden. In dieser technischen Erweiterung des ATEO Lab Systems ist somit ein weiteres Anliegen der vorliegenden Arbeit zu sehen. Als Operateur agierende Probanden konnten im ATEO Lab System bisher lediglich eine manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren, indem spezifische Hinweise und Eingriffe manuell per Mausklicks betätigt wurden. Für die geplante empirische Studie wurden Automatikfunktionen integriert, welche die Überprüfung der ausgewählten Kooperationsform ermöglichten. Der Idee des ATEO-Projekts (Kapitel 3.1) folgend, die Leistung von Entwicklern stärker bei der Analyse und Bewertung von Mensch-Automation-Interaktionen einzubeziehen, wurde der Entwicklungsprozess bzw. die Implementierung von Automatikfunktionen systematisch begleitet und ist in Kapitel 7.2.3 dokumentiert.

5 Konzeptuelle Grundlagen für kooperative Automation – Zentrale Modelle der Mensch-Automation-Interaktion und ein Rahmenmodell für Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation

Mit dem technischen Fortschritt vervielfältigen sich die Möglichkeiten, Aufgaben von Operateuren zu automatisieren und die Interaktion zwischen Mensch und Automation zu verbessern (Save & Feuerberg, 2012). Die sich im Zuge dieser Entwicklung verändernde Rolle von Automation und Operateur (Feigh et al., 2012; Kapitel 1.1) und die Frage nach der Funktionsallokation bzw. der Aufgabenteilung zwischen beiden (Kapitel 2) haben seit den 50er Jahren zahlreiche theoretische Ansätze hervorgerufen, die diese Interaktion und Aufgabenteilung zwischen Operateur und Automation zu beschreiben und erklären versuchen. Der angestrebte theoretische Beitrag dieser Arbeit ist es, Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation näher beschreiben und analysieren zu können. Als Grundlage für ein eigenes, theoretisches Rahmenmodell werden in diesem Kapitel zunächst ausgewählte Modelle zur Zusammenarbeit von Operateur und Automation diskutiert und hinsichtlich ihrer Beantwortung von zentralen Fragen der DFA bewertet.

Mit der Erkenntnis, dass Automation nicht notwendigerweise nach dem Alles-oder Nichts-Prinzip (Save & Feuerberg, 2012), sondern auch in abgestufter Form im Sinne von mehr oder weniger realisiert werden kann, haben sich solche Modelle durchgesetzt, die Automationsstufen berücksichtigen (Sauer et al., 2013). Einer der ersten Autoren solcher Stufenmodelle war Bright (1955), der von 17 Kompetenzstufen ausging, von denen die mittleren Stufen einen höheren Anspruch an Workload, Fähigkeiten und Fertigkeiten des Operateurs mit sich brachten als niedrigere Stufen (Miller & Parasuraman, 2007). Ein anderes Modell lieferte Klix (1971), der im Rahmen der Definition und Klassifikation von Mensch-Maschine-Systemen vier Komplexitätsstufen von Mensch-Maschine-Systemen unterscheidet. Mit zunehmendem Automationsgrad verändert sich dabei die Rolle des Operateurs vom Regler zum Überwacher. (In einer zusätzlichen Stufe findet ein Rollenwechsel vom Operateur zum Entwickler statt, welcher den Prozess nur noch indirekt und zeitlich versetzt mittels Konzeption und Programmierung beeinflusst). Diese rollenbasierte Klassifikation von Mensch-Maschine-Systemen wurde von Neumann und Timpe (1976) nochmals

ausdifferenziert. Sie gehen dabei von sechs Stufen mit zunehmendem Automationsgrad aus, auf denen der Operateur im Offline-Betrieb der Automation zunächst als Regler noch Teil des Prozesses ist. Im Online-Betrieb der Automation (Stufen 4 bis 6) ist er nicht mehr Teil des Regelkreises, sondern fungiert als Überwacher eines Closed-Loop-Prozesses. Weitere Modelle, in welchen unterschiedliche Arten der Funktionsteilung bzw. zunehmende Automatisierungsgrade als Stufen modelliert werden, finden sich bei Endsley (1987), Hollnagel (1989), Endsley und Kaber (1999), Kraiss (1985) oder Sheridan und Verplank (1978). Dabei ist das prominenteste Modell in demjenigen von Sheridan und Verplank (1978) zu sehen. Hier wird der Operateur auf einem Kontinuum von zehn Stufen, den schon erwähnten LOA, zunehmend von der Automation unterstützt und dann auch von dieser dominiert. Wenn es mittlerweile auch übereinstimmende Kritik und entsprechende Erweiterungen dieses Modells gibt (z. B. Kaber & Endsley, 2004; Parasuraman et al., 2000) werden die LOA bis heute vielfach zitiert und in zahlreichen empirischen Studien als Grundlage für die experimentelle Variation von Automationsgraden verwendet (Sauer et al., 2013).

Da das Modell von Sheridan und Verplank (1978) die theoretische Basis für die heutigen Ansätze zur kooperativen Automation (Kapitel 2.2) darstellt, wird es auch in dieser Arbeit als Ausgangsmodell beschrieben und diskutiert (Kapitel 5.1). Darauf aufbauend wird in den nachfolgenden Abschnitten eine ebenfalls prominente Erweiterung des LOA-Modells um Handlungsphasen (Parasuraman et al., 2000) vorgestellt und bewertet (Kapitel 5.2). Modelle zu Handlungsphasen erlauben eine differenzierte Betrachtung der wesentlichen kognitiven und motorischen Prozesse bei der Prozessüberwachung und -führung von Operateuren, wie beispielsweise Motiv- und Zielbildung, Informationsaufnahme und -verarbeitung, Entscheiden, Handeln/Ausführen sowie Verarbeitung von Rückmeldungen (Wandke, 2005). Die Art und Anzahl der Phaseneinteilung variiert über die Autoren (Endsley & Kaber, 1999; Gérard et al., 2011; Hauss & Timpe, 2000; Kraiss, 1990; Parasuraman et al., 2000; Sheridan, 1988). Der Grad an automatischer Unterstützung kann über die Phasen variieren. In Kapitel 5.3 folgt die Analyse und Bewertung eines weiteren Modells von Wickens und Hollands (2000) (Kapitel 5.3), eines der wenigen Modelle, das sich konkret mit Mechanismen der DFA auseinandersetzt. In einem Fazit (Kapitel 5.4) werden die Beiträge der drei theoretischen Ansätze zu relevanten Fragen der DFA zusammengefasst. Mit offen gebliebenen oder bisher unzureichend beantworteten Fragen zur DFA wird sich in Kapitel 5.5 auseinandergesetzt. Hier wird auf Basis der

Diskussion von Autorität und Kontrolle ein eigenes Rahmenmodell vorgeschlagen, von dem mögliche Formen der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation abgeleitet werden.

5.1 „Wieviel wird automatisiert?“ – Das Modell der *Level of Automation (LOA)* von Sheridan und Verplank (1978)

„But there is a variety of ways in which man and computer can cooperate.“

(Sheridan & Verplank, 1978, S. 8-15)

Wohl eines der einflussreichsten Modelle zur Mensch-Automation-Interaktion stellt das Modell der Level of Automation (LOA) von Sheridan und Verplank (1978) dar. Bis heute ist es die Grundlage für zahlreiche andere theoretische und empirische Ansätze. Das Modell wird in diesem Kapitel vorgestellt (Kapitel 5.1.1) und im Hinblick auf seine Bewährung und Grenzen diskutiert (Kapitel 5.1.2).

5.1.1 Hintergrund und Annahmen des Modells von Sheridan und Verplank (1978)

Im Zuge ihrer Forschung zur Prozessüberwachung und -führung von unbemannten Unterwasservehikeln für die U.S. Navy suchten Sheridan und Verplank (1978) nach Lösungen, um die Planung und Kontrollentscheidungen von Operateuren bei der Prozessüberwachung und -führung zu modellieren. Dabei berücksichtigten die Autoren (erstmal), dass das Handeln durch Operateur und Automation sich nicht ausschließen muss, sondern gerade deren Zusammenarbeit (Dekker & Woods, 2002; Hoc & Debernard, 2002) und damit folgende Fragen eine Rolle spielen: Welche Aufgaben delegiert der Operateur an die Automation, welche Aufgaben übernimmt er selbst? Wann schaltet er/sich die Automation ein, wann wieder aus? Wie erhält der Operateur Feedback von der Automation und umgekehrt? Modelle auf dieser Ebene sollten nach Sheridan und Verplank (1978) das „trading and sharing of control“ (S. 14) – das Verhandeln und Teilen der Kontrolle zwischen Mensch und Automation – enthalten sowie die Übergänge zwischen Planen und Einschalten zum Überwachen und zur Wiederübernahme der Kontrolle durch den Menschen. Als ein Ergebnis präsentieren

die Autoren ein Spektrum von zehn LOA bzw. Automationsstufen von manueller über teilautomatische bis hin zu vollautomatischer Kontrolle (Abbildung 1).

Die intermediären, teilautomatischen Stufen sind als Alternativen zur rein manuellen bzw. rein automatischen Prozessüberwachung und -führung zu sehen (Miller & Parasuraman, 2007). Sie schaffen neben der Vollautomation und der rein manuellen Kontrolle eine dritte Kategorie der „Shared Control“ (Sheridan & Verplank, 1978, S. 6-3). Die LOA repräsentieren somit unterschiedliche Möglichkeiten der Kooperation zwischen Mensch und Automation.

- (1) human does the whole job up to the point of turning it over to the computer to implement
- (2) computer helps by determining the options
- (3) computer helps to determine options and suggests one, which human need not follow
- (4) computer selects action and human may or may not do it
- (5) computer selects action and implements it if human approves
- (6) computer selects action, informs human in plenty of time to stop it
- (7) computer does whole job and necessarily tells human what it did
- (8) computer does whole job and tells human what it did only if human explicitly asks
- (9) computer does whole job and decides what the human should be told
- (10) computer does the whole job if it decides it should be done, and if so, tells human, if it decides that the human should be told.

Abbildung 1. „Levels of Automation in Man-Computer Decision Making for a single elemental decisive step“ (Sheridan & Verplank, 1978, S. 8-17). (Modellanpassungen unter Beteiligung von Sheridan selbst finden sich bei Parasuraman et al. (2000); Sheridan (2000) sowie Sheridan und Parasuraman (2005).)

5.1.2 Bewertung des Modells von Sheridan und Verplank (1978)

Das LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978) veränderte die seit den 50er Jahren vorherrschende Sichtweise auf die Automation endgültig. Während die Automation traditionell, angeregt durch Fitts (1951), als (kompletter) Ersatz menschlicher Handlungen angesehen wurde, bieten die LOA eine alternative Sichtweise durch unterschiedliche Kombinationen der Kontrolle zwischen Mensch und Automation für eine Aufgabe (Miller & Parasuraman, 2007) an. Auf den Zwischenstufen des Kontinuums von manueller zu vollautomatischer Kontrolle werden Aspekte wie Feedback (des Systems an den Operateur) und das Teilen von Funktionen bei der Konfiguration sowie Auswahl und Ausführung von Funktionen berücksichtigt (Endsley & Kaber, 1999). Diese Zwischenstufen ermöglichen somit unterschiedliche Szenarien der Zusammenarbeit von Mensch und Automation und sind als Grundstein für die kooperative Automation zu verstehen, in welcher Mensch und Automation als

elektronisches (Hammer & Small, 1995) bzw. Junior- (Miller, Guerlain & Hannen, 1999) Teammitglied (Christoffersen & Woods, 2002; Lenz & Onken, 2000) bzw. als Kommunikations- (Miller & Parasuraman, 2007) und Kooperationspartner (Hoc, 2001, 2007) betrachtet werden.

Auf die zentralen Fragen der DFA, was, wieviel davon, wann automatisiert werden sollte bzw. wer die Autorität hat, über einen Wechsel des LOA zu entscheiden, (Kapitel 2.2) gibt das Modell nur in Teilen eine Antwort. Die LOA eignen sich insbesondere für eine Aussage über das *Wieviel* (de Visser et al., 2008). Das *Was*, das heißt die zugrunde liegende Aufgabe, ist hier gemäß der Modellbezeichnung (Abbildung 1) ausschließlich im Entscheiden zu sehen (die Ausführung von Entscheidungen ist jedoch in den Stufen teilweise ebenfalls mit vorgesehen). Andere Aufgaben werden jedoch nicht erwähnt. Gerade im Hinblick auf die Forderung, die Automation müsse adäquat genutzt und gestaltet werden (Kapitel 1.1), ist zudem fraglich, welche LOA in welcher Situation ausgewählt werden sollen und wie die LOA gestaltet sein müssen, um förderlich auf Leistung, Workload oder Situationsbewusstsein zu wirken. Das Modell von Sheridan und Verplank (1978) selbst macht dazu keine Aussagen. Immerhin hat es dafür zu diversen empirischen Untersuchungen angeregt (Hoc, 2007), um zu überprüfen, welche Automationsstufen eine effektive und effiziente Interaktion zwischen Operateur und Automation unterstützen (z. B. Billings, 1997; Endsley & Kaber, 1999; Hancock & Scallen, 1998; Manzey et al., 2012; Manzey, Reichenbach & Onnasch, 2008; Moray et al., 2000; Sauer et al., 2013). Dabei werden die intermediären Automationsstufen, LOA 4 bis 6, heute in der Literatur gern als „golden mean“ (Sauer et al., 2013, S. 119) bzw. als Trade-Off zwischen den beschriebenen Vor- und Nachteilen von zu viel bzw. zu wenig automatischer Unterstützung (Miller, Funk, Goldman et al., 2005) angesehen. Bei näherer, eigener Betrachtung folgender Befunde, die in diesem Zusammenhang gern als Beleg für den positiven Effekt mittlerer LOA auf die Leistung herangezogen werden (beispielsweise von Miller & Parasuraman (2007) oder Sauer et al. (2013)), entsteht jedoch ein weniger eindeutiges Bild, das als kurzer Exkurs skizziert werden soll. So zeigen einige Studien in der Tat positive Auswirkungen von mittleren LOA auf die Leistung, zum Beispiel in Form von Erhalt der Leistungsfähigkeit von Fluglotsen bei Entscheidungsaufgaben nach dauerhafter automatischer Unterstützung (Endsley & Kiris, 1995) oder in Form von Leistungsverbesserungen durch automatische Unterstützung im Vergleich zu rein manueller Prozessführung (Manzey, Reichenbach et al., 2008). In anderen Studien

werden keine direkten Effekte unterschiedlicher LOA berichtet, sondern nur Effekte der Zuverlässigkeit der Automation auf die Leistung von Operateuren angeführt (z. B. Lorenz, Di Nocera, Röttger & Parasuraman, 2002). Dieselben Autoren fanden zudem, dass mittlere und hohe LOA in normalen Bedingungen zu einer Leistungssteigerung, in abnormalen dagegen zu Leistungseinbußen, führten. Der Kontext spielte bei geringen LOA keine Rolle. Manzey et al. (2012) unternahmen aus unterschiedlichen Kritikpunkten am Vorgehen von Lorenz et al. (2002) eine Replikationsstudie und fanden wie angenommen, dass sich die Leistung von Versuchspersonen bei Unterstützung durch höhere LOA verbesserte. Höhere LOA könnten den Nutzer eher als geringere LOA dazu angeregt haben, sich auf das System zu verlassen – eine Annahme, die nach Manzey et al. (2012) im Widerspruch zu der Studie von Lorenz et al. (2002) steht.

Die hier exkurshaft angeführten Befunde zum Einfluss der LOA auf die Leistung von Operateuren zeigen zum einen, dass die intermediären LOA nicht, wie oft geschehen, pauschal als Level der Wahl empfohlen werden können. Die Varianz der Ergebnisse zeigt, wie komplex die Beziehung zwischen LOA und Leistung bzw. Leistungsdeterminanten, zum Beispiel Workload und Situationsbewusstsein, ist. Der Kontext spielt eine immense Rolle und muss dementsprechend stets mit einbezogen werden. So ist davon auszugehen, dass eine Vielzahl von – stets wechselnden – Drittvariablen die Beziehung zwischen LOA und Leistung moderiert (von Bernstorff & Nachtwei, 2013). Bei Lorenz et al. (2002) ist es beispielsweise die Zuverlässigkeit des Systems. Andere Studien haben Stressoren wie zum Beispiel Lautstärke (Sauer, et al., 2011) oder Persönlichkeitsmerkmale (Szalma & Taylor, 2011) als zusätzliche Einflussfaktoren auf den Effekt von unterschiedlichen LOA auf die Leistung ausgewiesen. Es ist daher fraglich, ob generelle Aussagen zur Wirkung von LOA auf die Leistung überhaupt möglich bzw. erstrebenswert sind. Viel eher sollte ein methodischer Anspruch darin bestehen, Untersuchungen zur Wirkung von LOA immer auch in Abhängigkeit von systematisch mit erhobenen Kontextvariablen zu erheben. Bei der Wirkung von LOA spielt zudem nicht die Auswahl einer konkreten Stufe an sich eine Rolle. Die Art und Weise, wie die LOA implementiert werden, hat einen zusätzlichen Effekt auf die Leistung, welcher ebenso wie die Wirkung des gewählten LOA abhängig vom Kontext ist. So zeigt sich, dass die in Kapitel 2.2.1 kritisierte, statische Implementierung von LOA insbesondere in abnormalen Situationen zu Leistungseinbußen führt, in normalen Situation dagegen durchaus zu besserer Leistung

führen kann als dynamisch implementierte LOA (Endsley & Kaber, 1999; Kaber & Endsley, 2004; Sauer et al., 2013). Zur Art der Implementierung der LOA macht das Modell von Sheridan und Verplank (1978) selbst allerdings keine Aussagen. Entsprechend lässt sich aus dem Modell heraus auch nicht ableiten, ob und wann von wem eine Aufgabe übernommen bzw. ein Wechsel von LOA vorgenommen werden sollte. Obwohl die Autoren diese anfangs selbst aufwerfen, wird die für die DFA zentrale Autoritätsfrage (Kapitel 2.2.2) also nicht beantwortet. Das Modell erlaubt lediglich eine Vorstellung darüber, dass Operateur und Automation auf unterschiedliche Art und Weise zusammen arbeiten können, es empfiehlt jedoch explizit keine Stufen, geschweige denn die Notwendigkeit für Operateur- oder Automation-induzierte Stufenwechsel in Abhängigkeit von Kriterien, wie beispielsweise wechselnden Kontextbedingungen oder Zuständen des Operators. Derart fehlende Spezifizierungen im Modell lassen Raum dafür, den vom Modell implizierten Handlungsspielraum des Operators zu hinterfragen. Beispielsweise muss sich das Modell die Debatte darüber gefallen lassen, ob es ab Stufe 6 noch dem Prinzip der Human-centered Automation (Kapitel 2.1.2) entspricht, nach welchem der Operateur grundsätzlich die Autorität zum Entscheiden über die Funktionsallokation innehat (Inagaki, 2003).

Neben der Berücksichtigung der Art der Implementierung (statisch vs. dynamisch) und Wechsel (Operateur- vs. Automation-induziert) der LOA ist eine Erweiterung des Anwendungsbereichs des Modells notwendig: Der unidimensionale Charakter der Mensch-Automation-Beziehungen im LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978) lässt offen, für welche Handlungen die LOA (noch) gültig sind (Miller & Parasuraman, 2007). Im Modell geht es insbesondere um die automatische Unterstützung bei Entscheidungen (und Handlungsausführung) von Operateuren. Daneben sind aber auch andere Phasen der Prozessüberwachung und -führung denkbar, die von der Automation unterstützt oder ausgeführt werden können. Diesen Aspekt haben Parasuraman et al. (2000) als Anlass für eine Ausdifferenzierung des Modells um Handlungsphasen genommen. Diese erlaubt auch eine flexiblere Anwendung des Prinzips der Human-centered Automation (Kapitel 2.1.2), beispielsweise, indem der Operateur seine Autorität in niederen Phasen wie Informationsaufnahme und -verarbeitung aufgeben kann, beim Treffen von Entscheidungen jedoch behalten muss (Inagaki, 2003). Die Erweiterung wird im nächsten Abschnitt vorgestellt und diskutiert.

5.2 „Was wird automatisiert?“ – Das Modell der *Types and Levels of Human Interaction with Automation* von Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000)

„The first step is to realize that automation is not all-or-none but can vary by type. One can ask whether automation should be applied to information acquisition, information analysis, decision selection, or to action implementation. Automation of one class of function (e.g., information analysis), of different combinations of functions, or of all four functional domains, can be entertained.“

(Parasuraman et al., 2000, S. 189)

Die von Sheridan und Verplank (1978) vorgeschlagenen LOA beziehen sich explizit auf die automatische Unterstützung bei Entscheidungen und entsprechendem Handeln. Vor dem Entscheiden spielen jedoch bereits Phasen der Informationsverarbeitung eine Rolle, zum Beispiel Information erkennen oder analysieren (Parasuraman et al., 2000), wobei die Automation nicht notwendigerweise immer Vorschläge dazu machen wird, was mit dieser Information geschehen soll (Miller & Parasuraman, 2007). Parasuraman et al. (2000) haben daher eine Erweiterung des LOA-Modells von Sheridan und Verplank (1978) um weitere Handlungsphasen vorgeschlagen, die die Einordnung von automatischen Systemen, jeweils mit unterschiedlichen LOA über diese Handlungsphasen, erlauben. Das erweiterte LOA-Modell wird heute vielfach, meist im selben Atemzug mit dem ursprünglichen genannt und ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

5.2.1 Hintergrund und Annahmen des Modells von Parasuraman et al. (2000)

Mit besonderem Augenmerk auf die Entwickler automatischer Systeme strebten Parasuraman et al. (2000) danach, ein Modell der Mensch-Automation-Interaktion zu entwickeln, das die Frage nach der Funktionsallokation beantwortet: Welche Funktionen sollten in welchem Grad automatisiert werden? Das Modell sollte Entwickler dabei unterstützen, den Operateur schon im Vorhinein bei der Konzeption automatischer Systeme stärker zu berücksichtigen (Kapitel 1.2). Dabei geht es den Autoren explizit nicht darum, vorzuschreiben, was und was nicht automatisiert werden sollte (Parasuraman et al., 2000). Das Modell will nach Aussage der Autoren dennoch

eine breitere und objektivere Basis für die Entwicklung von Automatikfunktionen schaffen, als es Modelle tun, die nur auf technische Kapazitäten und wirtschaftliche Kriterien ausgerichtet sind. Dafür erweitern Parasuraman et al. (2000) das von Sheridan und Verplank (1978) vorgeschlagene Modell der LOA um weitere Handlungsphasen bzw., in den Worten der Autoren, um weitere „Types of functions“ (S. 287). Mit „Type“ ist der jeweilige Anwendungsbereich, also eine der vier vorgeschlagenen Phasen, gemeint, auf die sich die Automation beziehen kann. Während Automation bei Sheridan und Verplank (1978) lediglich auf Output-Funktionen wie Entscheiden und Ausführen angewandt wird, sollen in diesem Modell auch Input-Funktionen wie Informationsaufnahme und -analyse berücksichtigt werden, das heißt Phasen, die schon vor dem Entscheiden und Ausführen stattfinden (Parasuraman et al., 2000). Entsprechend lassen sich die LOA von Sheridan und Verplank (1978) (getrennt) für jede dieser vier Handlungsphasen ausdifferenzieren (Abbildung 2). So ist in jeder Phase eine automatische Unterstützung auf niedriger bis hoher Stufe möglich. Je nach LOA, das heißt je nachdem, wie stark die Automation den Operateur in einer Phase unterstützt, werden die Aufgaben für den Operateur und damit sein Verhalten in dieser Phase unterschiedlich ausfallen.

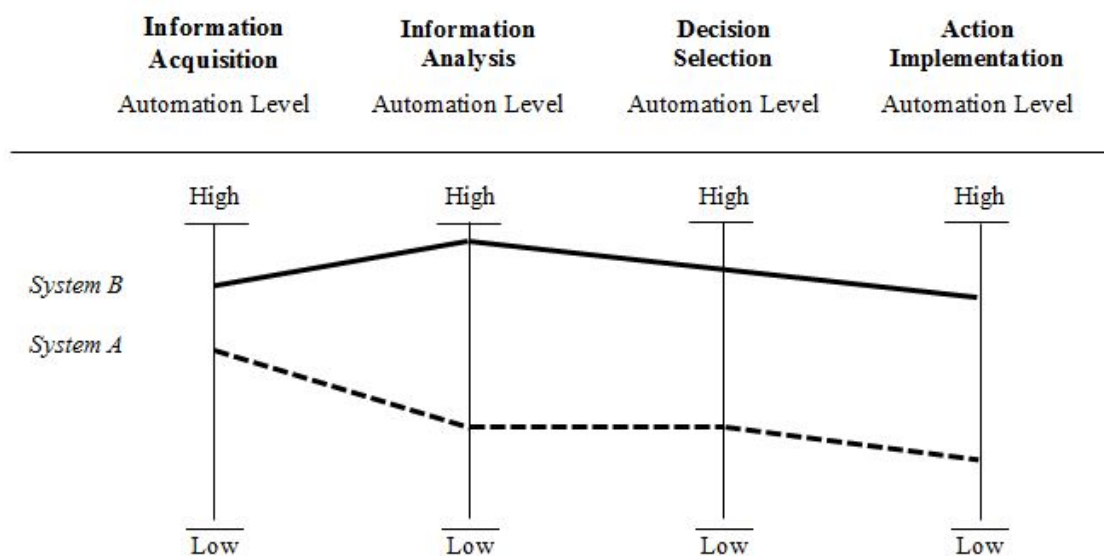


Abbildung 2. Vier-Phasen-Modell der Informationsverarbeitung nach Parasuraman et al. (2000). Die vier unabhängigen Phasen entsprechen vier Typen von Funktionen, welche auf unterschiedlichen Stufen (Level of automation (LOA)) automatisiert werden können: Informationsaufnahme, Informationsanalyse, Entscheidung bzw. Handlungsauswahl und Handlungsausführung.

In Phase 1 findet die Aufnahme von Informationen bzw. multipler Informationsquellen (Parasuraman et al. 2000) statt. Sensorische Reize werden (selektiv) wahrgenommen und unbewusst vorverarbeitet. Die automatische Unterstützung der Informationsaufnahme auf niedrigem LOA betrifft die Anzeige und Organisation von Rohdaten, zum Beispiel das Scannen und Beobachten einzelner Daten, die vom Operateur selbständig aufgenommen und zusammengefasst werden müssen (Inagaki, 2003). Als ein Beispiel für die automatische Unterstützung auf niedrigem LOA nennen Parasuraman et al. (2000) Radarsysteme in der Flugverkehrsüberwachung wie das Bodenradarsystem *Advanced Surface Movement Guidance and Control System* (A-SMGCS). Mit diesem können Lotsen die Flugzeuge am Boden über ein Interface identifizieren. Weitere Beispiele nach Parasuraman et al. (2000) sind künstliche haptische oder visuelle Sensoren eines Roboters zum Suchen und Greifen von Objekten oder die Organisation von Information anhand von automatisch erstellten Ranglisten oder Markierungen, zum Beispiel *Electronical Flight Strips* (eine elektronische Alternative zu papierbasierten *Flight Progressive Strips* (Doble & Hansman, 2002)). Diese präsentieren den Lotsen die Flugzeuge nach Priorität inklusive relevanter Daten wie Flugnummer, Call Sign (Stationskennung), Typ und Route. Bei hochautomatischer Informationsaufnahme werden gezielte Informationen aus komplexen Informationsmengen bereits gefiltert dargeboten (Parasuraman et al., 2000). Als Beispiel für das Filtern von Informationen (hohes LOA) nennen die Autoren das *Primary Flight Display* (PFD; eines der Multifunktionsdisplays des *Electronic Flight Instrument Systems* im Cockpit eines Flugzeugs). Das PFD beispielsweise zeigt (nur) die relevanten Daten an, welche für den manuellen oder automatischen Flug notwendig sind (Tarnowski, 2002), um einen Informationsoverload zu vermeiden.

In Phase 2 läuft die bewusste Wahrnehmung, Speicherung und Integration der verarbeiteten Information im Arbeitsgedächtnis ab, bevor Entscheidungen getroffen werden. Hier verarbeitet der Operateur die vorhandenen Rohdaten (Inagaki, 2003). Die Automation der Informationsanalyse bezieht sich auf die drei Ebenen der Informationsverarbeitung, welche von Endsley (1995) als Ebenen des Situationsbewusstseins definiert werden: Wahrnehmen/Bemerken, Verstehen und Übertragen. Auf einem niedrigen LOA können Algorithmen dazu dienen, Muster in vorhandenen Daten zu erkennen oder Vorhersagen zu treffen. Ein Beispiel wären nach Parasuraman et al. (2000) Displays im Cockpit, welche die geplante Route benachbarter Flugzeuge anzeigen (Hart & Wempe, 1979; Morpew & Wickens, 1998). Die

Automation auf mittlerem bzw. höherem LOA betrifft die Informationsintegration, wo verschiedene Informationen in einen einzelnen Wert zusammengeführt werden und das Schlussfolgern von Operateuren verbessern. Das oben genannte Bodenradar A-SMGCS zum Beispiel löst auf höherer Funktionsstufe einen Alarm aus, wenn Flugzeuge in bestimmte, vorher definierte Zonen eindringen. Ein zweites Beispiel ist die Trenddarstellung, bei welcher Prozessdaten wie Messwerte oder Stellgrößen (Vogel-Heuser, Schweizer, van Burgeler, Fuchs & Pantförder, 2007) in Relation zu Zeitdaten als Kurvenverläufe abgebildet werden. Nach der Theorie zur Trend Literacy zum menschlichen Trendverstehen (Kindsmueller, 2006) stellen solche Kurvenverläufe ein zentrales Hilfsmittel für Operateure dar, weil Zustände, Historie und zukünftige Verläufe von Prozessen einfach abgelesen werden können (Kinds Müller & Urbas, 2002). Auf hohem LOA in Phase 2 lassen sich beispielsweise „Information Manager“ (Parasuraman et al., 2000, S. 288) ansiedeln, welche die Daten kontextabhängig für den Nutzer zusammenfassen.

In Phase 3 werden auf Basis der kognitiven Verarbeitung Entscheidungen getroffen bzw. Handlungen ausgewählt, welche dann in Phase 4 ausgeführt werden. Automatische Unterstützung bei Entscheidungen beinhaltet die Vorauswahl möglicher Entscheidungsalternativen (niedriges LOA) bis hin zum automatischen Treffen dieser Entscheidungen. Für die genauen Abstufungen der LOA verweisen die Autoren wieder auf das Originalmodell von Sheridan und Verplank (1978). Im Unterschied zu der vorherigen Informationsanalyse müssen bei der (menschlichen wie automatischen) Entscheidungsauswahl bereits die (unsicheren) Folgen dieser Entscheidung abgewogen und mit berücksichtigt werden. Als Beispiel für die automatische Unterstützung von Entscheidungen auf niedrigem LOA nennen die Autoren Expertensysteme in der Medizin oder dem Militär, welche regelbasiert spezifische Entscheidungen nahelegen (Madni, 1988). Das Ground Proximity Warning System (GPWS) repräsentiert beispielsweise ein moderates LOA, in welchem bestimmte Manöver empfohlen werden, die der Pilot jedoch ignorieren kann. Das Ground Collision Avoidance System (GCAS) nennen die Autoren als Beispiel für ein hohes LOA. Hier übernimmt die Automation nicht nur die Entscheidung, sondern auch die Ausführung, sofern dies der Pilot nicht selbst tut (Scott, 1999).

In Phase 4 werden die Handlungen analog der in Phase 3 getroffenen Entscheidung(en) ausgeführt. Die Automation kann diese Handlungsausführung unterschiedlich stark unterstützen und repräsentiert dann die Hand oder Stimme des

Menschen (Parasuraman et al., 2000). Die unterschiedlichen LOA richten sich hier nach dem relativen Anteil manueller vs. automatischer Aktivität bei der Durchführung einer Reaktion. Ein niedriges LOA wären zum Beispiel die manuelle Konfiguration von Funktionen des Photokopierers wie Sortierung oder Heftung (Parasuraman et al., 2000). Ein moderates LOA wäre nach Parasuraman et al. (2000) beim automatischen „Handoff“ (S. 289) in der Flugverkehrsüberwachung zu finden, wo die Kontrolle eines Flugzeugs von einem Sektor an den anderen automatisch via Knopfdruck des Lotsen übergeben wird. Ebenso kann das Abstandsregelsystem Adaptive Cruise Control (ACC) hier eingeordnet werden, das initiiert durch den Fahrer weitestgehend die Kontrolle über die Längsführung des Fahrzeugs übernimmt (Heesen et al., 2010). Ein Beispiel für die hochautomatische Ausführung von Handlungen sind künstliche Agenten, welche Steuerungsaufgaben anstelle eines menschlichen Nutzers übernehmen (Burkhard et al., 2011; Kurbalija et al., 2012). Ein weiteres Beispiel sind autonome Fahrzeuge (z. B. Parent, 2007), welche fahrerlos bzw. mit dem Fahrer als bloßem Passagier eigenständig ein vorher definiertes Ziel ansteuern. Ebenso nennen Parasuraman et al. (2000) hier den Autopiloten, der in hochautomatischen Flugzeugen vollständig die Steuerungsaufgabe für den Piloten übernimmt, welcher sich dann anderen, strategischen Aufgaben, wie der Prüfung des Systemstatus, widmen kann (Tarnowski, 2002).

Zur Vereinfachung nehmen die Autoren die Unabhängigkeit der vier Phasen an, wobei sie berücksichtigen, dass sich die Phasen bei bestimmten Aufgaben überlappen (Wickens & Hollands, 2000). Das Durchlaufen der Phasen findet weniger in strikter Reihenfolge hintereinander, sondern eher in dauerhaften Zyklen statt. Dabei fordern die Autoren auch, dass die Automationsstufen nicht schon statisch in der Entwicklungsphase definiert werden. Stattdessen sollten sich sowohl Level als auch Typ (Phase) der Automation adaptiv während der Prozessüberwachung und -führung an Situation und Bedürfnisse des Operators anpassen können.

Ein bestimmtes Mensch-Maschine-System kann mithilfe des Modells in jeder der vier Phasen auf unterschiedlichen LOA automatisiert werden. Beispielsweise kann das System eine hoch automatische Informationsaufnahme und Informationsanalyse, jedoch eine geringe automatische Unterstützung beim Entscheiden und Ausführen haben (Parasuraman et al., 2000). So führen die Autoren Webseiten zur Flugbuchung an, welche sich zwar über eine hochautomatische Informationsaufnahme (automatische Suche verschiedener Flugangebote) oder sogar hochautomatische Informationsanalyse (Sortieren von Angeboten nach Kosten oder Abflugsdatum), dagegen nur durch eine

geringe automatische Unterstützung der Entscheidungs- und Ausführungsphase auszeichnen. Denn nur selten werden direkte Empfehlungen für einen bestimmten Flug gegeben oder die Buchung und Zahlung automatisch durchgeführt (Miller & Parasuraman, 2007).

Mithilfe der differenzierten Beschreibung des jeweiligen LOA pro Phase will das Modell Entwickler dabei unterstützen, relevante Fragen der Automatisierung möglichst strukturiert und adäquat zu beantworten: Welcher Typ der Automation wird benötigt, das heißt, auf welche der vier Phasen bzw. welche Kombination bezieht sich die Automation? Welches LOA soll in der entsprechenden Phase implementiert werden? Welche möglichen ökonomischen oder sicherheitsbezogenen Folgen hat das LOA (zum Beispiel Kosten der Implementierung, Effizienz der Mensch-Automation-Interaktion, Workload oder Situationsbewusstsein des Operators) (Parasuraman et al., 2000)? Das Berücksichtigen solcher Aspekte soll laut der Autoren ein durchdachtes Design der Automation ermöglichen und das Modell somit die bestmögliche Unterstützung später aktiver Operateure darstellen.

5.2.2 Bewertung des Modells von Parasuraman et al. (2000)

Die Erweiterung des ursprünglich eindimensionalen Modells der Level of Automation um eine zweite Dimension erlaubt es, zahlreiche Mensch-Maschine-Systeme nach dem Ausmaß ihrer automatischen Unterstützung zu charakterisieren. Im Vergleich zu Sheridan und Verplank (1978), deren Automationsstufen sich insbesondere auf das Entscheiden und Handeln von Operateuren bezog, werden jetzt auch Phasen der Informationsverarbeitung mit einbezogen, über welche das LOA eines bestimmten Mensch-Maschine-Systems jeweils variieren kann (Miller & Parasuraman, 2007). Je höher das LOA in Relation zu der im Prozess fortgeschrittenen Phase, desto höher der Grad an Automation (Wickens, Li, Santamaria, Sebok & Sarter, 2010) eines spezifischen Systems. Entwicklern gegenüber mögen Konzepte neuer automatischer Systeme somit einfacher kommuniziert werden können (Feigh et al., 2012) als dies mit dem ursprünglichen LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978) möglich ist. Forschern und Entwicklern wird ermöglicht bzw. diese werden aufgefordert, die Auswirkung unterschiedlicher Formen automatischer Unterstützung auf die Leistung oder Leistungsdeterminanten des Operators nun für unterschiedliche Phasen der Prozessüberwachung und -führung zu durchdenken und empirisch zu überprüfen. Das

Modell trägt somit zunächst einmal zahlreichen Forschern aus Kognitionswissenschaft und Ingenieurpsychologie Rechnung, welche sich ebenfalls vielfach mit derartigen Informationsverarbeitungsphasen (Broadbent, 1958; Miller, 1956) und Handlungsphasen von Menschen (Hacker & Ulich, 1986; Norman, 1984; Rasmussen, 1981) bzw. Operateuren (Endsley & Kaber, 1999; Gérard et al., 2011; Sheridan, 1997; Wandke, 2005) auseinandergesetzt haben.

Bedauerlicherweise werden jedoch auch mit diesem Modell keine systematischen Empfehlungen dafür gegeben, welches Level pro Phase wann für welche Art von Mensch-Maschine-Systemen anzustreben ist (dieser Punkt wird im Folgenden nochmals aufgegriffen). Mit ihren vier Informationsverarbeitungs- und Handlungsphasen beantworten Parasuraman et al. (2000) jedoch nur ansatzweise, was automatisiert werden sollte (de Visser et al., 2008). Die Phasen selbst sind noch immer hoch abstrakt, was Miller und Parasuraman (2007) später selbst konstatieren und auf „finer-grained“ oder „sequential process models“ (S. 63) verweisen. So fehlen zum einen Phasen wie Motiv- und Zielbildung oder Lernen (Feedback eigener Handlungen), wie beispielsweise später von Wandke (2005) für die Klassifikation von Assistenzsystemen vorgeschlagen. Zum anderen sind die Phasen selbst noch weiter ausdifferenzierbar, zum Beispiel in das Diskriminieren und Abstrahieren im Rahmen der Informationsverarbeitung. Nach de Greef et al. (2010) sollte zudem die zugrunde liegende Aufgabe selbst in Aufgabenbestandteile unterteilt und diese pro Phase analysiert werden. Denn auch unterschiedliche Aufgabenbestandteile erfordern unterschiedliche LOA pro Phase. So ist die Beziehung zwischen LOA und Handlungsphase sehr viel komplexer (Miller & Parasuraman, 2007) als in diesem „simple flow chart“ (Dekker & Woods, 2002, S. 240) dargestellt. Denn Automation verändert nicht nur den Anteil der menschlichen Kontrolle für bestimmte Aufgaben, sondern auch die Natur der Aufgabe selbst (Dekker & Woods, 2002; Miller & Parasuraman, 2007). Somit erfolgt die angestrebte Vereinfachung des Modells (vier Phasen ohne weitere Unterteilung) stark auf Kosten der angestrebten Aussage (Empfehlung bestimmter LOA bzw. deren Wechsel pro Aufgabe auf Basis bestimmter Bedingungen). Unter Nennung einzelner Befunde wird angemerkt, dass bestimmte LOA in bestimmten Phasen mit unerwünschten Konsequenzen für die Leistung von Operateuren einhergehen, zum Beispiel zu Complacency oder reduziertem Situationsbewusstsein führen. Für die Bestimmung des adäquaten LOA, insbesondere in den Phasen Entscheiden und Handeln, wird auf weitere notwendige Forschung zu den

jeweils entstehenden Kosten verwiesen. In einem nachfolgenden Artikel erwähnen Parasuraman et al. (2007), dass Operateure am besten durch eine hochautomatische Informationsaufnahme und -analyse unterstützt werden, wogegen die Automation von Entscheidungen eher auf einem moderaten LOA umgesetzt werden sollte, solange keine 100%ige Zuverlässigkeit der Automation gewährleistet werden kann. Da die konkreten Automationsstufen jedoch nicht ausformuliert sind und die Leistungsfolgen nicht näher spezifiziert werden, sorgen solche Empfehlungen eher für eine „Illusion des Verstehens“ (Dekker & Woods, 2002, S. 241) bei den Entwicklern, deren offene Fragen mit dem Modell eigentlich beantwortet werden sollen.

Wenn die Erweiterung um Informationsverarbeitungsphasen auch einen vervollständigenden Schritt gegenüber dem Modell von Sheridan und Verplank (1978) darstellt, weist das Modell von Parasuraman et al. (2000) zugleich einen großen Rückschritt auf, weil die eigentlich wertvolle und interessante Konkretisierung der LOA pro Phase fehlt. Unterschieden wird im Originalartikel pro Phase nur zwischen hohen und geringen LOA (eine Ausnahme ist Phase 3, bei der sich die Autoren auf die Beschreibung der Abstufungen bei Sheridan und Verplank (1978) berufen). Das ist kaum zu rechtfertigen, existieren doch schon andere, differenzierte Erweiterungen des LOA-Modells, beispielsweise von Endsley und Kaber (1999), auf welche sich die Autoren für die Konkretisierung der LOA sinnvoll hätten beziehen können. Jene hatten ein eigenes Kontinuum von 10 Automationsstufen des geteilten Entscheidens und Handelns für vier (den von Parasuraman et al. (2000) sehr ähnlichen) Handlungsphasen (Überwachen, Planen, Entscheiden, Ausführen) definiert. Dabei wurde auch die Aufgabenteilung pro Akteur berücksichtigt: Bottom-Up, das heißt auf der Basis real existierender Beispiele, wurde pro Stufe und Phase definiert, ob und wie Mensch, Automation oder beide gemeinsam in einer Stufe beteiligt sind (Wright & Kaber, 2005). Parasuraman et al. (2000) legen dagegen bedauerlicherweise keine Zwischenstufen fest, um zu beschreiben, wie und auf welchen Stufen pro Phase genau Operateur und Automation kooperieren. In einem anderen Artikel sucht Parasuraman (2000) diese Lücke zu schließen, indem er für die vier Phasen ein allgemeingültiges Spektrum aus 5 Stufen (keine, geringe, mittelhohe und hohe Automation) eröffnet. Da die notwendige Beschreibung der Zusammenarbeit von Operateur und Automation auf diesen 5 Stufen jedoch ausbleibt, bringt dieses Spektrum keinen Mehrwert.

Nur selten nennen die Autoren überdies klare Kriterien für den Grad an automatischer Unterstützung pro Phase. So lässt sich oft schwer definieren, auf welche

Aspekte sich die zunehmende Automation bezieht: Richtet sich die Automation in der Phase der Informationsaufnahme beispielsweise nach Quantität (zunehmende Anzahl an Daten wird aufgenommen) oder Qualität der Information („raw data“ vs. „certain items of information“; Parasuraman et al., 2000, S. 288)? Oder geht es um die Unterstützung der Art der Aufnahme („Highlighting“ vs. „Filtering“; Parasuraman et al., 2000, S. 288)? Hier scheinen sich sowohl kategoriale und ordinale, als auch quantitative und qualitative Abstufungen zu mischen. Dies erklärt auch, weshalb sich die Beispiele, die bei Parasuraman et al. (2000) für unterschiedliche Formen automatischer Unterstützung top-down gefunden werden müssen, nicht immer trennscharf einer Phase zuordnen lassen. Gerade komplexe adaptive oder adaptierbare Systeme wie Fahrstreifenverlassenswarner oder Kollisionswarnsysteme im Bereich des assistierten Fahrens (Heesen et al., 2010) lassen sich zugleich mehreren Phasen zuordnen oder implizieren das Wechseln von Phasen (siehe beispielsweise den in Kapitel 5.2.1 beschriebenen Wechsel von Phase 3 zu 4 beim *Ground Collision Avoidance System*, das nicht nur für eine Entscheidung sorgen, sondern auch die Ausführung übernehmen kann). Reale Systeme erfordern somit gar nicht unbedingt die Unabhängigkeit der vier Phasen, welche Parasuraman et al. (2000) zur Vereinfachung annehmen. Diese Annahme ist überdies auch deshalb problematisch, weil sich die Autoren hinsichtlich dieser Unabhängigkeit stellenweise selbst widersprechen. So erwähnen die Autoren zum einen, dass die Bewältigung mancher Aufgaben die Überlappung von Phasen erfordert. Zum anderen wird erwähnt, dass unterschiedliche LOA in der Phase der Informationsaufnahme auch unterschiedliche Folgen für das Verhalten des Operators und insofern direkte Auswirkungen auf die Handlungsphase mit sich bringen.

Auch die zentrale Bezeichnung der Phasen als Typen („For each type of automation [...] a level of automation [...] is chosen“; Parasuraman et al., 2000, S. 290) ist ungünstig und von den Autoren zudem inkonsistent gewählt. So sprechen Parasuraman et al. (2000) wahlweise von „Types of Human Interaction with Automation“ oder „classes of function“ (S. 286), von „Types of functions“, „Functional Types“, „Type of Automation“ (S. 289) oder von „Stages“ (S. 291). Der Modelltitel „Level and Stages“ wäre hier näherliegend gewesen, da „Types of Automation“ eher nicht mit den vier Phasen selbst, sondern mit der Zuordnung von LOA zu den vier Phasen assoziiert werden.

Bedauerlicherweise adressiert das Modell auch nicht ausreichend die damals schon geforderten Konzepte dynamischer Funktionsallokation (z. B. Byrne &

Parasuraman, 1996; Hancock & Scallen, 1997). Die Autoren erwähnen zwar, dass die Implementierung der jeweiligen LOA nicht statisch, sondern adaptiv erfolgen sollte. Es werden jedoch keine Aussagen dazu gemacht, wann und durch wen sich die LOA adaptiv verändern sollen. Das Modell geht lediglich von der Existenz unterschiedlich hoher Automationsstufen aus, nicht jedoch von möglichen dynamischen Wechseln der LOA, geschweige denn von Kriterien für solche Wechsel. Dabei geht es weniger um die Tatsache, dass Kontextbedingungen als solche ignoriert werden, sondern mehr um die problematische Annahme, dass Kontextbedingungen konstant und vorhersagbar sind (Hancock & Scallen, 1998). Insbesondere intrinsische Veränderungen, die durch Lernen, Müdigkeit oder Stress entstehen, werden hier nicht berücksichtigt (Hildebrandt & Harrison, 2002). Diesen Aspekt greift auch Hoc (2007), ursprünglich bezogen auf das LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978), auf: Nach ihm entstammt der LOA-Ansatz zu sehr einer automationsorientierten Perspektive, weil die kognitiven Prozesse des Nutzers außer Acht gelassen werden: Welchen Effekt könnten die Vorschläge der Automation auf den Nutzer haben? Wieviel Zeit hat der Nutzer, um aus ihnen auszuwählen? Wird der Mensch die Reihenfolge der Vorschläge nicht als Rangfolge interpretieren? Dabei wird nach Hoc (2007) auch die symbolische Informationsverarbeitung des Nutzers vernachlässigt, die nach bestimmter Zeit dafür sorgt, dass nur noch oberflächliche sensorische Reize und nicht mehr deren Bedeutung verarbeitet werden müssen. Die kognitiven Prozesse des Operators sind insbesondere deshalb wichtig, weil die Implementierung von Automation nicht die Stärken des Operators hervorhebt und die Schwächen minimiert, sondern – in oft unvorhergesehener Weise – neue Stärken und Schwächen (Bainbridge, 1978) und auch neue Funktionen bzw. Verhaltensweisen kreiert (Dekker & Woods, 2002).

Die reine Auflistung von LOA beantwortet demnach nicht, wie Menschen darüber entscheiden sollten, ob und wann sie eingreifen oder sich zurück halten sollen und welcher kognitive Aufwand für die Entscheidung nötig ist, von Level zu Level zu wechseln (Dekker & Woods, 2002). Die für die DFA zentrale Autoritätsfrage, wann und durch wen LOA gewechselt werden, wird somit auch durch Parasuraman et al. (2000) nicht beantwortet (Feigh et al., 2012). Insofern rückt deren Modell noch nicht wirklich von traditionellen MABA-MABA-Ansätzen (Fitts, 1951) bzw. vom Substitutions-Mythos (Dekker & Woods, 2002; Kapitel 1.2) ab und weist eine vergleichbare Statik wie das Modell von Sheridan und Verplank (1978) auf. Es werden daher zukünftig Modelle der Mensch-Automation-Interaktion gebraucht, die flexible

Kooperationsformen zwischen Operateur und Automation konkret beschreiben und erklären. Das LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978) ist in gewisser Hinsicht als eine revolutionäre Basis für unterschiedliche Formen der Kooperation zwischen Mensch und Automation zu sehen. Die Erweiterung von Parasuraman et al. (2000) zeigt, welches Anwendungsspektrum für die LOA zu berücksichtigen ist, und wie automatische Systeme hinsichtlich dieses Spektrums charakterisiert und miteinander verglichen werden können. Im Hinblick auf zukünftige Modelle gilt es jedoch, nicht mehr nur unterschiedliche LOA an sich zu beschreiben. Einerseits muss die Kooperation zwischen Mensch und Automation auf einem bestimmten LOA in den Vordergrund gerückt werden (was heißt es in der Realität, wenn sich Mensch und Automation eine Funktion teilen?). Andererseits muss erklärt werden, wie der dynamische Wechsel zwischen LOA vor sich geht. Wann, das heißt nach welchen Kriterien und durch wen soll ein Wechsel adaptiv oder adaptierbar ausgeführt werden? Ein Modell, das diesen Fragen näher kommt, wurde von Wickens und Hollands (2000) vorgeschlagen. Diesem Modell ist der folgende Abschnitt gewidmet.

5.3 Das Modell zur dynamischen Funktionsallokation von Wickens und Hollands (2000)

„The third issue [...] and perhaps the most controversial, is the issue of "who decides" whether to implement or remove automation.“

(Wickens & Hollands, 2000, S. 549)

Dem viel diskutierten Thema der DFA (Kapitel 2.2.1) widmen sich auch Wickens und Hollands (2000) in ihrem Buch *Engineering Psychology and Human Performance*. (Sie tun dies allerdings unter dem Begriff der adaptiven Automation, den sie wie viele andere Autoren (Kapitel 2.2.2) als Synonym für DFA verwenden). Mit einem Modell bzw. einem Schema visualisieren sie den Wechsel von LOA in Abhängigkeit bestimmter dynamischer Umweltbedingungen. Dieses Modell, so scheint es, ist in der Human Factors-Literatur weitgehend unbeachtet geblieben, denn in renommierten Artikeln lässt sich kaum eine entsprechende Zitation finden. Dabei verkörpert das Modell, das im selben Jahr wie die Erweiterung von Parasuraman et al. (2000)

entstanden ist, den entscheidenden Schritt hin zur Beschreibung von konkreten Mechanismen der DFA.

5.3.1 Hintergrund und Annahmen des Modells von Wickens & Hollands (2000)

Unter dem Stichwort Human-centered Automation (Kapitel 2.1.2) diskutieren Wickens und Hollands (2000) Lösungsmöglichkeiten, welche die sichere, zufriedenstellende Nutzung der Automation durch den Operateur ermöglichen. Neben adäquater Interfacegestaltung, Informationsmenge, -aufbereitung und systematischem Training des Operateurs im Umgang mit der Automation schlagen die Autoren einmal mehr eine flexible Automation vor. Mit dieser kann sich das LOA als Funktion der aktuellen Bedürfnisse des Operateurs während des Prozesses ändern und die jeweilige Beteiligung von Mensch und Automation optimieren (Wickens & Hollands, 2000). Wie sich Mensch und Automation die Kontrolle für bestimmte Funktionen während der Prozessüberwachung und -führung teilen bzw. gegenseitig übergeben, haben die Autoren in einem Schema verdeutlicht (Abbildung 3a). In diesem werden der Workload und das Situationsbewusstsein des Operateurs situationsabhängig von einem „Task Manager“ (Wickens & Hollands, 2000, S. 547) reguliert. Dieser Task Manager analysiert die Leistungskapazität des Mensch-Maschine-Systems: Abhängig von der Art/Qualität der Aufgabenausführung, den vorherrschenden Umweltbedingungen und dem aus diesen Bedingungen resultierenden Zustand (Workload, Situationsbewusstsein) des Operateurs, entscheidet der Task Manager darüber, wer von beiden – Operateur oder Automation – die Kontrolle übernehmen bzw. abgeben soll. Diese flexible Zuweisung der Kontrolle, symbolisiert durch Task Manager, ermöglicht es (durch ein geringes LOA), das Situationsbewusstsein des Operateurs zu erhalten und (durch Wechsel zu einem höheren LOA) einem zu hohen Workload entgegenzuwirken.

Bei der Implementierung solch einer flexiblen Automation sind nach Wickens und Hollands (2000) drei entscheidende Aspekte zu berücksichtigen: „What to adapt“ (S. 548) – Welche Teile einer Aufgabe bzw. welche Funktionen sollen automatisiert werden? „How to infer“ (S. 548) – Nach welchen Kriterien entscheidet der Task Manager, ob die Kontrolle an Operateur oder Automation gegeben bzw. ein Wechsel stattfindet? Und: „Who decides“ (S. 549) – Wer entscheidet, ob die Kontrolle einer Funktion übernommen bzw. gewechselt wird?

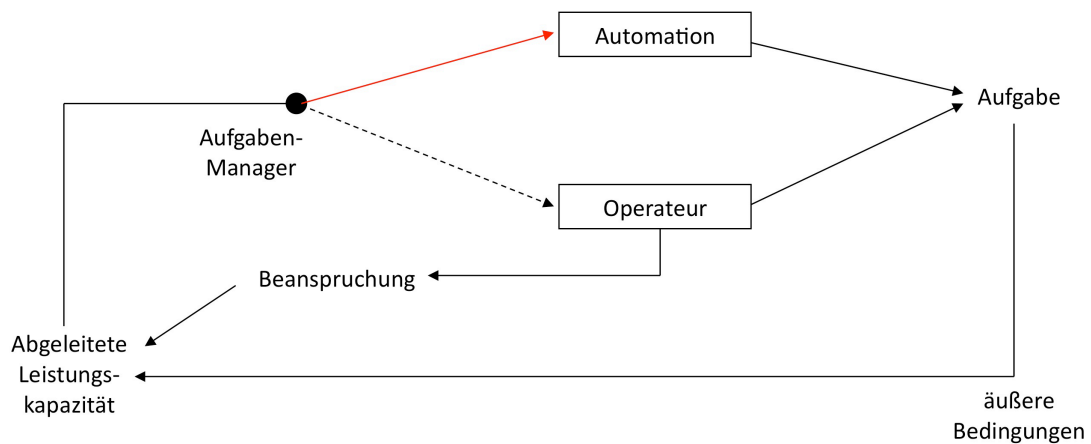


Abbildung 3a. Modell dynamischer Funktionsallokation nach Wickens und Hollands (2000). Der Workload bzw. die Leistungskapazität des Operateurs wird analysiert und von einem Task Manager als Kriterium genutzt, um zu entscheiden, ob die Kontrolle der Automation (bei hohem Workload) oder dem Operateur (bei reduziertem Workload) zugewiesen wird. Der Task Manager (Autoritätsinstanz) kann nach den Autoren durch die Automation, den Operateur oder beide repräsentiert werden.

Der erste Aspekt *What to adapt* betrifft genau genommen nicht nur die Art, sondern auch den Umfang der Aufgabe. Insofern hätte die Frage von Wickens und Hollands (2000) im Sinne von de Visser et al. (2008, S. 221) auch „how much to automate“ lauten können. Welche Aufgabenaspekte (Art der Aufgabe) automatisiert oder deautomatisiert werden, sollte sich nach der größtmöglichen Reduktion des Workloads (Wickens & Hollands, 2000) richten, selbst wenn damit einhergehend auch das Situationsbewusstsein reduziert wird. Diese Entscheidung über die Automatisierung der Aufgabenart erfolgt nach den Autoren unabhängig von der Entscheidung über den zu automatisierenden Umfang der Aufgabe. Letzterer bezieht sich nach Wickens & Hollands (2000) darauf, ob die Automation eher eine Assistenzfunktion hat, das heißt bestimmte Aufgabenkomponenten durch die Automation übernommen werden, oder ob eine vollständige Aufgabe (aus einem Aufgabenkomplex) an die Automation übertragen wird.

Der zweite Aspekt *How to infer* betrifft die Analyse der Leistungskapazität des Operateurs: Wie lässt sich feststellen, ob bzw. dass der Workload des Operateurs erhöht und somit seine Leistungskapazität reduziert ist, um davon ausgehend auf ein höheres LOA zu wechseln? Analog ihres Schemas führen Wickens und Hollands (2000) drei Ansätze an, um auf die erhöhte Beanspruchung des Operateurs zu schließen: Zunächst können externe Aufgabenbedingungen, das heißt Prozessführungsbedingungen, die (bekanntermaßen) eine erhöhte Beanspruchung für den Operateur mit sich bringen, als

indirektes Maß für den Workload des Operators dienen. Je nach Situation können diese Bedingungen beispielsweise die Start- und Landephase des Piloten, aber auch die Position und Geschwindigkeit des Flugzeugs sein, wenn ein Triebwerk ausgefallen ist. Wiederum nutzt das automatische Ground Collision Warning System (GCWS) eines Flugzeugs (Kapitel 5.2.1) die erwartete Zeit bis zum Aufsetzen als externe Bedingung, um auf die Aufmerksamkeit des Piloten zu schließen und ggf. selbst ein Ausweichmanöver einzuleiten (Scott, 1999). Um eine reduzierte Leistungskapazität anzuzeigen, können zweitens auch Leistungsmaße selbst herangezogen werden, insbesondere da gezeigt wurde, dass spezifische Leistungsmaße zuverlässig eine Systemstörung vorhersagen. Mithilfe psychophysiologischer Messungen kann drittens der kognitive oder affektive bzw. energetische Zustand des Operators, zum Beispiel über EEG-Messung, Lidschlussbewegungen oder Herzrate erhoben werden. Allerdings erfordern sowohl Leistungsindikatoren als auch psychophysiologische Messungen gewisse Zeitperioden, bis eine reliable Aussage über die Erhöhung und Wiederabsenkung des Workload getroffen werden kann. Zu wenig Zeit kann also unzuverlässige Aussagen produzieren und inadäquate Wechsel des LOA provozieren, die dann erst zu einer Workloaderhöhung führen. Im Fall, dass genügend Zeit gewährt wird, um reliabel auf die Kapazität des Operators zu schließen, könnten dynamische Umweltveränderungen in der Zwischenzeit bereits zu einem neuen Zustand des Operators oder der Automation geführt haben, so dass die mittlerweile eingeleiteten Maßnahmen möglicherweise negative Auswirkungen hätten.

Der dritte, nach Wickens und Hollands (2000) kontroverseste Aspekt *Who decides* lässt sich auch als Frage beschreiben: Wer oder was ist der Task Manager? Die Entscheidung, an wen – Automation oder Operator – die Kontrolle aufgrund zu hohen Workloads des Operators gegeben wird, muss nicht, wie nach den Autoren implizit angenommen, von der Automation gefällt werden. Auch der Operator ist (ggf. gemeinsam mit der Automation) theoretisch dazu in der Lage. Die Befundlage dazu, ob Automation oder Mensch besser in der Lage sind, den Workload zu analysieren bzw. eine Entscheidung zu treffen, ist laut der Autoren (im Jahr 2000) jedoch noch uneindeutig. Operateure scheinen sich in der Fähigkeit, die eigene Beanspruchung adäquat zu bemessen, zu überschätzen (Svenson, 1981, zit. nach Wickens & Hollands, 2000). Zudem benötigen sie offenbar zusätzliche, kritische Zeit dazu, die Entscheidung zu fällen, ob die Kontrolle an die Automation abgegeben werden soll oder nicht (Kaber & Riley, 1999). Die Zuverlässigkeit, mit der die Leistungskapazität bzw. der Workload

des Operators bestimmt werden kann, ist letztendlich das zentrale Entscheidungskriterium dafür, ob Operator, Automation oder beide die Rolle des Task Managers einnehmen. Die Implementation von flexibler Automation erfordert nach Meinung von Wickens und Hollands (2000) insbesondere die Denkarbeit von Entwicklern, gleichzeitig jedoch die verstärkte Berücksichtigung kognitiver Leistungsdeterminanten von Operateuren und von Konzepten wie Kommunikation, Kooperation und Vertrauen.

5.3.2 Bewertung des Modells von Wickens und Hollands (2000)

Zahlreiche Autoren haben schon zu früheren Zeitpunkten gefordert, Automation nicht mehr statisch, sondern dynamisch (adaptiv, adaptierbar, flexibel) zu implementieren. Das Trading und Sharing der Kontrolle zwischen Operator und Automation griffen erstmals Sheridan und Verplank (1978; Kapitel 5.1) auf. Dennoch geht deren Ansatz nicht über die eindimensionale Beschreibung möglicher Stufen der Zusammenarbeit hinaus. Und auch die ergänzte, zweite Dimension der Handlungsphasen (Parasuraman et al., 2000) macht keine Aussage dazu, wie genau das Teilen und Wechseln der Kontrolle zwischen Mensch und Automation vor sich geht. Eine konkrete, sehr eingängige Näherung an die Autoritätsfrage (Kapitel 2.2.2) haben erst Wickens und Hollands (2000) mit ihrem Modell zur dynamischen Funktionsallokation geliefert. Mithilfe eines übersichtlichen Schemas präsentieren die Autoren ihr konzeptuelles Modell einer Kooperation zwischen Operator und Automation. Beiden kann die Kontrolle bzw. Ausführung einer Funktion flexibel zugewiesen werden, um den Workload des Operators zu reduzieren. Damit werden Passivität und dadurch entstehende Aufmerksamkeits- und Fertigungsdefizite des Operators wie auch OOTLUF-Probleme (Kapitel 1.2) und Complacency vermieden. Die aktive Partizipation des Operators ermöglicht ihm, ein angemessenes mentales Modell über den Prozess als Grundlage für sein Situationsbewusstsein auszubilden. Das Situationsbewusstsein des Operators wird dabei auch durch dessen (ständig analysierte) Beanspruchung aufrechterhalten. So integrieren die Autoren erstmals auch Außenkriterien für den dynamischen Wechsel der Kontrolle in ihr Modell und ermöglichen damit im Vergleich zu den vorher beschriebenen Modellen Vorhersagen, wann Wechsel von Level und Typen der Automation denkbar sind. Neben diesen Stärken des Modells bleiben aber auch einige Fragen offen. Die wichtigsten Fragen in

Bezug auf die DFA werden als kritische Aspekte in Abbildung 3b visualisiert und im Folgenden diskutiert.

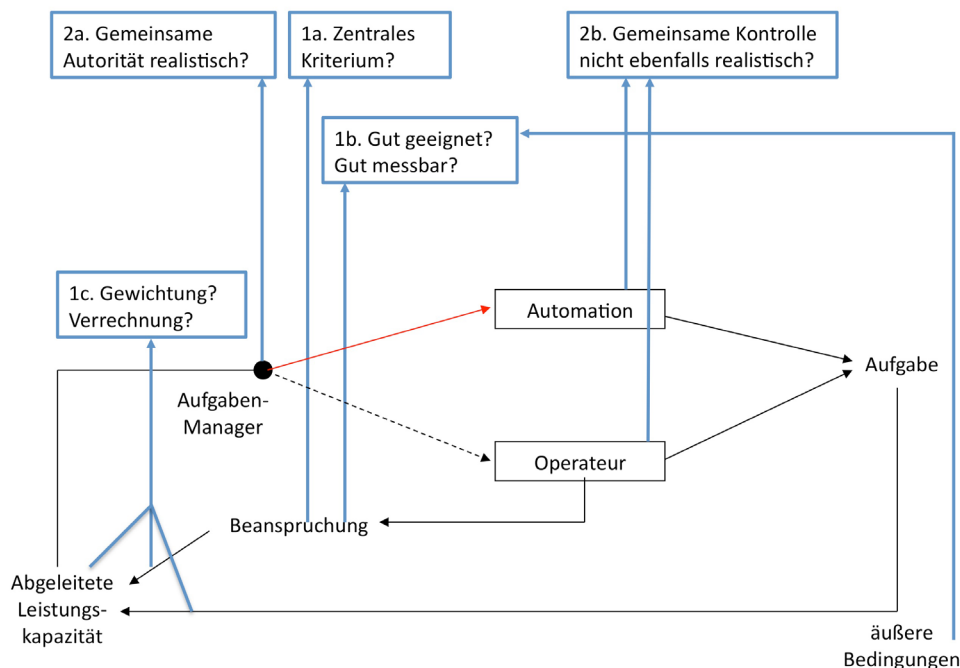


Abbildung 3b. Modell dynamischer Funktionsallokation nach Wickens und Hollands (2000) (angepasste Darstellung). In dieser angepassten Darstellung sind wesentliche Kritikpunkte bezüglich zentraler Fragen der DFA eingezeichnet. Sie betreffen die Auswahl und Verrechnung von Kriterien für das Wechseln von LOA (1a bis 1c) und die zentrale Frage, wer Autorität und wer wann Kontrolle hat (2a und 2b).

Nach welchen Kriterien soll der Wechsel der Kontrolle (noch) durchgeführt werden?

Der zentrale Bestandteil des Modells, der Task Manager, dient als Hilfskonstrukt, um den dynamischen Wechsel der Kontrolle zwischen Automation und Operateur abhängig von dem (zu hohen) Beanspruchungslevel des Operateurs zu beschreiben. Die Autoren legen sich somit auch auf ein zentrales Kriterium für den Wechsel fest. In Übereinstimmung mit Hancock (2007) ist ein flexibles Umschalten der Kontrolle zu Operateur oder Automation nötig, um die *Beanspruchung des Operateurs* zu regeln. Um auf den Grad der Beanspruchung des Operateurs zu schließen, können externe Aufgaben- bzw. Prozessführungsbedingungen, die Leistung des Mensch-Maschine-Systems oder psychophysiologische Messungen genutzt werden. Insofern werden diese drei Ansätze nur als indirekte Kriterien für dynamische Funktionsallokation und der Workload als ausschlaggebend betrachtet. Dahinter steht die Annahme, dass LOA und Workload sich direkt bedingen: Ein geringes LOA geht nach den Autoren mit zu hohem Workload, hohes LOA mit zu geringem Workload einher, so dass umgekehrt von der

Höhe des Workloads auf einen Wechsel des LOA, für die Reduktion bzw. Erhöhung des Workloads und damit Erhalt des Situationsbewusstseins geschlossen werden kann.

Es ist jedoch fraglich, ob der Workload des Operators als alleiniges Kriterium bzw. alleiniger Auslöser für einen Kontrollwechsel ausreichend ist. Gerade vor dem Hintergrund, dass der Task Manager auch (nur) die Automation selbst sein kann, besteht nicht nur die Gefahr einer inadäquaten (in diesem Fall: zu geringen) Workloadausprägung des Operators. Ebenso wie der Mensch kann auch die Automation an ihre Kapazitätsgrenzen gelangen, sei es durch fehlende bzw. fehlerhafte Eingriffe des Operators oder durch Entwicklungsgrenzen. Eine adäquate Workloadausprägung des Operators kann, muss jedoch nicht notwendigerweise zum Erhalt seines Situationsbewusstseins, und damit zu einer korrekten Diagnose des Systemzustands und entsprechenden lösungsorientierten Handlungen, führen. Ein Beispiel ist der Absturz des Air France-Airbusses AF447 im Jahr 2009: Die kurz zuvor ausgebliebenen korrekten Diagnosen der Flugbahnabweichung und des Strömungsabrisses sind in erster Linie auf einen Entwicklungsfehler, fehlende Erfahrung bzw. Ausbildung der Besatzung, auf unkoordinierte Teamarbeit sowie (möglicherweise darüber vermittelt) auf einen zu hohen Workload zurückzuführen (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile [BEA], 2012). Die Verstopfung von Pitot-Sonden (Teil der Geschwindigkeitsmesser) durch Eiskristalle im Flug, die zu einer Inkohärenz zwischen den gemessenen Geschwindigkeiten und zum Abschalten des Autopilots führte, ist ein bekanntes Phänomen, „das jedoch von der Luftfahrtgemeinschaft zum Zeitpunkt des Unfalls schlecht beherrscht wurde“ (BEA, 2012, S. 2). Wie hier deutlich wird, kann die Unfallursache immer auch in latenten, organisationalen Bedingungen liegen, die im Sinne von Reason (1997, 1998) erst in Kombination mit aktiven Fehlern des Operators in einem Unfall enden.

Dieses Beispiel zeigt zum einen, dass nicht nur der Workload des Operators das zentrale Kriterium für eine Übertragung bzw. einen dynamischen Wechsel der Übertragung der Kontrolle sein sollte (Anmerkung 1a in Abbildung 3b). Weitere Kriterien wie Systemzustand, Umweltbedingungen und die Interaktion aus beiden, die bei Wickens und Hollands (2000) vor allem als Indikatoren für den Workload des Operators betrachtet werden, sollten auch unabhängig vom Workload des Operators zu einem Wechsel der Kontrolle führen können. So haben auch andere Autoren vorgeschlagen, neben physiologischen Zustandsmessungen (zum Beispiel Workload, Müdigkeit) auch dynamische Kontextbedingungen (Hancock & Scallen, 1998; Sheridan

& Parasuraman, 2005) oder Leistungsmaße (Sheridan & Parasuraman, 2005) als direkte Kriterien für DFA heranzuziehen. Parasuraman et al. (1992) definieren darüber hinaus kritische Ereignisse als mögliche Auslöser für das Anpassen der Automation. Diese Ereignisse können als Spezifizierung der Umweltbedingungen verstanden werden: Die Automation wird (nur dann) aktiviert, wenn ein vorher definiertes externes Ereignis eintritt. Die Aktivierung der Automation ist unabhängig von der aktuellen Leistungskapazität des Operators und der Automation. Allerdings eignen sich bisher nicht alle Kriterien gleich gut als Indikatoren für einen Wechsel (Anmerkung 1b in Abbildung 3b). Externe Aufgabenbedingungen, zum Beispiel Aufgabenmerkmale (wie Schwierigkeit) oder Umweltbedingungen (wie Zeitdruck, Unwetter oder Dunkelheit), sind als Kriterien für einen Wechsel bereits gut erforscht. Beispiele sind die automatische Steuerung der Scheibenwischerfrequenz (über Regensensoren), die automatische Fahrlichtschaltung (für eine optimale Beleuchtung wird hier abhängig von bspw. Dämmerungssensoren gesorgt) oder adaptive Fahrwerksregelungen (welche die Dämpfung und Lenkungscharakteristik des Fahrzeugs an Fahrsituation und Fahrbahnbeschaffenheit anpassen).

Schwieriger ist die Umsetzung eines Wechsels der Kontrolle auf Basis von Personen- bzw. Leistungsmerkmalen des Operators. Intensive Forschung zur Fahrerzustandsdiagnostik betreibt die Forschergruppe um Prof. Matthias Rötting (z. B. Lei, Zhang & Rötting, 2011; Rötting, Huang, McDevitt & Melton, 2003, 2004). In der Praxis stehen für die Ermittlung des Fahrerzustands oft konkrete Anwendungen wie die Spurhaltung im Vordergrund. Oder auf den Fahrerzustand (z. B. Ermüdung) wird indirekt über Sensoren des Fahrverhaltens (z. B. Fahrverhalten und Geschwindigkeit) geschlossen. So zum Beispiel beim Warnsystem Driver Alert Control (DAC) von Volvo. Der Fahrer wird hier akustisch, optisch sowie via Textmeldung gewarnt, wenn die (in einem elektronischen Steuergerät abgeglichenen) Abstandsaufzeichnungen der Kamera und Informationen der Bewegungssensoren auf das Risiko eines Kontrollverlusts hinweisen. Bei direkten Messungen des Fahrerzustands werden beispielsweise über das Fahrverhalten hinaus die Ablenkung (ständige automatische Messung des Eingriffsverhaltens an Radio und Navigationssystem) oder die Müdigkeit des Fahrers (Karrer & Rötting, 2007), zum Beispiel über In-Vehicle-Kameras oder Driver Alertness Monitors (Huang, Rötting, McDevitt, Melton & Courtney, 2005) überprüft.

Wie soll der Wechsel von Kontrolle durchgeführt werden?

Die Art und Anzahl der ausschlaggebenden Kriterien sowie die Zuverlässigkeit, mit der diese Kriterien gemessen werden, ist eng verknüpft mit der Art des tatsächlichen Wechsels der Kontrolle. So kann es einen Unterschied machen, ob der Workload oder das Fahrverhalten des Operators (z. B. Abstand des Fahrzeugs vom vorher fahrenden Fahrzeug) von einem definierten Sollwert abweicht. Während ein zu hoher Workload nicht unmittelbar einen Störfall vorhersagt (vermutlich erst in Kombination mit anderen Sollwertabweichungen), wird das zu starke Auffahren ein unmittelbares Eingreifen der Automation in der Ausführungsphase erfordern. Die Gewichtung und Verrechnung von Kriterien ist daher entscheidend (Anmerkung 1c in Abbildung 3b). Denkbar ist, dass mit einer erhöhten Zuverlässigkeit der Messung, mit der Anzahl an ausschlaggebenden Kriterien sowie mit zunehmender Zuverlässigkeit der Automation auch auf ein höheres LOA bzw. eine höhere Handlungsphase gewechselt werden muss. In anderen Worten: Mit der Bedrohlichkeit der Situation muss sowohl das LOA, auf das gewechselt wird, als auch der Automationstyp bzw. die Handlungsphase (Parasuraman et al., 2000), die unterstützt wird, steigen. So muss je nach Situation sichergestellt sein, dass ein notwendiger Kontrollwechsel nicht nur angekündigt wird, zum Beispiel mithilfe eines Alarms (automatische Unterstützung in der Phase der Informationsaufnahme und -analyse bei Parasuraman et al. (2000)), sondern direkt eingeleitet wird (automatische Unterstützung der Ausführungsphase bei Parasuraman et al. (2000)). Beispielsweise werden bei dem aktuell getesteten Lenkraddruck des Fahrers bei minimaler Erschlaffung der Hand zunächst Hinweise an den Fahrer gegeben, anschließend über einen SOS-Modus zudem eine automatische Umgebungsanalyse vorgenommen und in die Steuerung eingegriffen, um das Fahrzeug zum Stehen zu bringen. Im Gegensatz zu dieser Erhöhung des LOA (bzw. Wechsel auf erhöhte Handlungsphasen), wurde das LOA im Beispiel des Air France Flugs AF447 verringert: Der Pilot erhielt zunächst Warnsignale, danach erforderte das (regelkonforme) Abschalten des Autopiloten eine direkte manuelle Übernahme der Flugzeugführung durch den Piloten. Das Air France-Beispiel zeigt aber auch, dass die direkte Einleitung des Kontrollwechsels nur dann eintreten darf, wenn wesentliche Randbedingungen (in diesem Fall ein sicherer Umgang der Piloten mit dem bekannten Phänomen verstopfter Pitot-Sonden oder Behebung des Phänomens in der Entwicklungsstufe der Sonden) hinreichend erfüllt sind. Handelt es sich um einen Wechsel der Kontrolle von Operator zu Automation, muss es sich zudem um eine hoch zuverlässige Automation handeln.

Wer sollte Autorität haben? Wer sollte Kontrolle haben?

Ein wichtiger Aspekt bei der flexiblen Automation ist die Autorität bzw. die Initiation des Wechsels (Kapitel 2.2.2). Wer entscheidet über die Veränderung der Automationsstufen (Scerbo, 2006)? Bei Wickens und Hollands (2000) ist dies die Frage nach dem Task Manager. Die Autoren nehmen an, dass der Task Manager keine externe Instanz darstellt, sondern durch die Automation, den Operateur oder „a cooperative enterprise“ (Wickens & Hollands, 2000, S. 547) repräsentiert wird. Autorität kann somit, wie auch im Sinne von Rouse (1994) und Scerbo (2006), geteilt werden. Die Autoren führen allerdings die jeweiligen Szenarien selbst nicht weiter aus und geben auch keine Empfehlungen, wer die Rolle des Task Managers (wann) einnehmen sollte. Damit bleiben Fragen offen: Wie genau erhalten Operateur vs. Automation Autorität? Wird einem von beiden die Rolle des Task Managers (zum Beispiel durch einen Entwickler) zugewiesen? Und/oder muss die Autorität analog des „Trading“ der Kontrolle (Sheridan & Verplank, 1978, S. 14; Kapitel 5.1) erst ausgehandelt werden? Dabei ist insbesondere der Fall, dass Operateur und Automation auch gemeinsam die Autorität innehaben sollen, nur schwer nachzuvollziehen (Anmerkung 2a in Abbildung 3b). Wie kann man sich eine geteilte Autorität vorstellen? In diesem Zusammenhang ist zudem unklar, weshalb nach Wickens und Hollands (2000) die Autorität von Operateur und Automation zwar geteilt werden kann, hingegen bei der Kontrolle, das heißt bei der Ausführung von Aufgaben, keine Gemeinsamkeit vorgesehen wird. Entweder Operateur oder Automation werden als ausführende Instanzen betrachtet. Beide sollten jedoch auch gemeinsam eine Funktion ausführen können (Anmerkung 2b in Abbildung 3b). Dies entspricht dem schon erwähnten und vielfach diskutierten Konzept der geteilten (Abbink et al., 2012; Feigh et al., 2012; Flemisch et al., 2012; Inagaki, 2012; Meister, 1985; Sheridan, 2000; Sheridan & Verplank, 1978) bzw. kooperativen Kontrolle (Flemisch et al., 2008, 2012; Heesen et al., 2010) (Kapitel 2.2 und 5.1). Die wesentlichen Erkenntnisse, die auf Basis der drei diskutierten Modelle zur (dynamischen) Zusammenarbeit von Operateur und Automation gewonnen wurden, werden im folgenden Abschnitt (Kapitel 5.4) nochmals zusammengefasst.

5.4 Fazit: Zusammenfassung der Beiträge der drei Modelle zu relevanten Fragen dynamischer Funktionsallokation

„...it arguably does not go far enough.“

(Miller & Parasuraman, 2007, S. 63)

Relevante Fragen für Ansätze dynamischer Funktionsallokation lassen sich wie folgt zusammenfassen: Welche *Handlungsphasen* können in welcher *Aufgabenteilung* (welchen *Kontrollanteilen*) durch *wen* in *welcher Weise* ausgeführt werden? *Durch wen* erfolgt die *Zuweisung* der Ausführung abhängig von *welchen Kriterien*? Abbildung 4 veranschaulicht auf Basis der vorherigen Kapitel, inwiefern in der Literatur bereits auf diese Fragen geantwortet wurde.

Welche Handlungsphasen?	Motivation	Wahrnehmung	Informationsverarbeitung	Entscheiden	Handeln	Feedback
z. B. Endsley & Kaber (1999); Gérard et al. (2011); Parasuraman et al. (2000); Wandke (2005)						
Welche Aufgabenteilung?	LOA 1		LOA 2 bis 9		LOA 10	
z. B. Sheridan & Verplank (1978)						
Wer führt aus (Kontrolle)?	Operateur		beide		Automation	
z. B. Flemish et al. (2012); Scerbo (2006)						
Wie?	dynamisch			statisch		
z. B. Fitts (1951); Inagaki (2003); Scerbo (2006)						
Wer entscheidet über Ausführung (Autorität)?	Operateur		beide		Automation	Entwickler
z. B. Scerbo (2006), Wickens & Hollands (2000)						
In Abhängigkeit von welchen Kriterien?	Zustand Operateur		Zustand System		Zustand Umwelt	
z. B. Byrne & Parasuraman (1996); Inagaki (2003); Wickens & Hollands (2000)						

Abbildung 4. Relevante Fragen der dynamischen Funktionsallokation. Beispiele für derartige Fragen und für Antworten, die in der Literatur (beispielsweise) darauf gegeben wurden.

Die drei zuvor beschriebenen Modelle liefern auf diese Fragen jeweils Teilantworten. Das LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978; Kapitel 5.1) beschreibt, wieviel einer Aufgabe jeweils durch entweder Operateur oder Automation übernommen wird und auch, wer die Autorität bei der Aufgabenausführung hat (bis

LOA 5 der Operateur, ab LOA 6 die Automation (Inagaki, 2003)). Damit beschreibt es unterschiedliche Arten der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation. Es empfiehlt jedoch keine spezifischen LOA in Abhängigkeit bestimmter Situationen oder Zustände und macht keine Aussage darüber, ob Wechsel von LOA stattfinden bzw. wann diese durch wen initiiert werden können.

Mit der Erweiterung dieses Modells um Informationsverarbeitungs- und Handlungsphasen liefern Parasuraman et al. (2000; Kapitel 5.2) insbesondere Antworten darauf, auf was bzw. welche Aufgaben sich die LOA (noch) beziehen können. Die LOA können über vier vorgeschlagene Informationsverarbeitungs- und Handlungsphasen variieren. Auf dieser Basis wird eine differenziertere (post-hoc) Charakterisierung von automatischen Systemen möglich. Es wird behauptet und teilweise an Beispielen gezeigt, dass Wechsel von LOA (und Phasen) möglich sind. Ebenso wenig wie im Modell von Sheridan & Verplank (1978) wird jedoch erklärt, wie bestimmte LOA für Phasen ausgewählt werden und wann bzw. durch wen Wechsel von LOA eintreten. Auf die konkrete Definition der LOA (und damit auch der Autoritätsfrage) wird weitestgehend verzichtet. Stattdessen wird auf die entsprechende Beschreibung der LOA bei Sheridan und Verplank (1978) verwiesen.

Wickens und Hollands (2000; Kapitel 5.3) beantworten als einige der wenigen Forscher sehr plastisch die Frage danach, wann Wechsel von LOA möglich sind (insbesondere bei zu hohem Workload und eingeschränkter Leistungskapazität des Systems). Ebenso treffen sie Annahmen darüber, wer prinzipiell (Operateur, Automation oder beide) diesen Wechsel vollziehen kann. Wer die Rolle des Task Managers (Autorität) einnehmen sollte bzw. (anfänglich) einnimmt, wird allerdings nicht beantwortet und insbesondere das Szenario geteilter Autorität nicht weiter ausgeführt. Überdies werden entweder Operateur oder Automation, jedoch nicht beide, in der ausführenden Rolle gesehen. Gerade die gemeinsame Kontrolle bzw. Aufgabenausführung von Operateur und Automation ist heute von großem Forschungsinteresse. Die Möglichkeit, dass sich Operateur und Automation die Kontrolle nicht nur übergeben, sondern auch teilen bzw. sich jeweils aneinander anpassen können, wird in allen drei beschriebenen Modellen bisher nicht bzw. unzureichend berücksichtigt. Formen dieser geteilten Zusammenarbeit sowie die bisher fehlende, explizite Auseinandersetzung mit zentralen Aspekten wie Autorität und Kontrolle werden daher nachfolgend in Form einer eigenen Taxonomie aufgegriffen.

5.5 Kooperation zwischen Mensch und Automation – eine Frage von Autorität und Kontrolle

Zentrale Aspekte bei der kooperativen Automation sind Autorität und Kontrolle (Kapitel 2.2.2). Wer weist die Kontrolle, das heißt die Ausführung einer Funktion, Operateur, Automation oder beiden zu und/oder verändert diese? Für statische Ansätze der Funktionsallokation sind beide Fragen vergleichsweise leicht zu beantworten, stellt doch der Entwickler selbst die autoritative Instanz dar. Er weist Funktionen von vornherein entweder Operateur oder Automation zu, wenn diese fixe, a priori getroffene Funktionsteilung auch auf Kosten einer dynamischen Anpassung der involvierten Akteure an sich ändernde Umweltbedingungen geht (Kapitel 2.2.1). Die heute deswegen angestrebte Flexibilität der Automation wirft die Frage nach Autorität und Kontrolle (immer) wieder auf. Wer entscheidet über diese Flexibilität (Miller, Funk, Goldman et al., 2005)? Und da Operateur und Automation sich die Kontrolle von Funktionen auch teilen können: Wie kann man sich diese geteilte Kontrolle vorstellen? Die zuvor diskutierten theoretischen Ansätze liefern jeweils nur anteilige Antworten auf derartige Fragen (Kapitel 5.4). Den Fragen soll sich daher in Form eines eigenen theoretischen Bezugsrahmens im folgenden Abschnitt genähert werden. Ausgehend von einer theoretischen Diskussion der zentralen Aspekte Autorität und Kontrolle (Kapitel 5.5.1) werden diese auch systematisch zueinander in Bezug gesetzt und konkrete Formen der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Automation (Kapitel 5.5.2) vorgeschlagen. Dabei wird auch Bezug zu den in Kapitel 2.2.2 beschriebenen flexiblen bzw. kooperativen (adaptiven und adaptierbaren) Automationskonzepten genommen. Die Diskussion des theoretischen Bezugsrahmens und der davon abgeleiteten Kooperationsformen (Kapitel 5.5.3) bildet sodann die Grundlage für die Durchführung einer eigenen Untersuchung konkreter Szenarien zu der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation.

5.5.1 Autorität und Kontrolle als zentrale, jedoch bisher wenig strukturierte Aspekte der Zusammenarbeit von Operateur und Automation

In dem Modell zur DFA von Wickens und Hollands (2000) wird zwischen einer (langfristigen) autoritativen Instanz in Form des Task Managers und einer (kurzfristigen) Kontrollinstanz in Form von prozessüberwachenden und -führenden

Akteuren unterschieden. Operateur und Automation sind nun nicht mehr nur ausführende Organe, sondern auch entscheidende. Statische Ansätze der Funktionsallokation (Kapitel 2.1) lassen sich auch als einmalige Frage nach der Kontrolle repräsentieren: Wer macht was bzw. wer hat die Kontrolle für welche Aufgaben? (Die Autorität hat dabei stets der Entwickler). Dagegen lassen sich bei der DFA bzw. bei der kooperativen Automation zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Prozessüberwachung und -führung stets zwei Fragen stellen:

1. Wer hat die Autorität (= wer entscheidet über die Ausführung)?
2. Wer hat/erhält die Kontrolle für die Prozessüberwachung und -führung (= wer führt aus?)

Die Unterscheidung zwischen Autorität (Entscheiden über die Zuweisung der Ausführung einer Funktion bzw. über den Wechsel des LOA) und Kontrolle (Ausführen dieser Funktion) wird auch von anderen Autoren vorgenommen (z. B. Billings, 1997; Feigh et al., 2012; Flemisch et al., 2012; Miller, Funk, Goldman et al., 2005; Oppermann, 1994; Sauer et al., 2013). Teilweise erfolgt diese Unterscheidung jedoch nur implizit (z. B. im LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978)) oder die Begrifflichkeiten werden nicht sauber voneinander getrennt (z. B. Miller, Funk, Goldman et al., 2005). Häufig findet zudem der Begriff Verantwortung Verwendung, meist als Synonym des hier verwendeten Begriffs Kontrolle (z. B. Billings, 1997; Fitts, 1951; Parasuraman & Manzey, 2010; Sarter et al., 1997; Scerbo, 2006). Bei Flemisch et al. (2012) wird Verantwortung nicht als Synonym für Kontrolle, sondern als zusätzlicher Aspekt neben Autorität und Kontrolle (sowie Fähigkeiten) diskutiert.

Darüber hinaus werden die beiden oben genannten Fragen in der Literatur nicht immer einheitlich beantwortet, geschweige denn Empfehlungen dafür gegeben, wer Autorität und Kontrolle haben sollte. Für die Autorität durch den Operateur spricht grundsätzlich der sich davon versprochene Erhalt seines Situationsbewusstseins (Billings & Woods, 1994; Hoc, 2007; Kaber & Endsley, 2004; Wickens, 1994), der auch empirisch belegt ist, zum Beispiel in Studien zur Variation von LOA: Endsley und Kiris (1995) fanden bei einem Experiment zu automatisch unterstützten Entscheidungen über die Fahrzeugführung auf fünf LOA (Kapitel 5.1.2), dass das Situationsbewusstsein für die rationalen Entscheidungen am höchsten in der manuellen Bedingung (LOA 1), mittelhoch bei den mittelhohen Automationsstufen (LOA 5) und gering in der

vollautomatischen Stufe (LOA 10) war. Endsley und Kaber (1999) fanden, dass moderate LOA bei der Unterstützung von Entscheidungen, die dem Operateur die finale Auswahl der Entscheidung ermöglichen, das Situationsbewusstsein am besten aufrechterhielten. Umgekehrt ist das Bewusstsein für Veränderungen im System oder der Umwelt geringer, wenn diese Veränderungen durch eine Automation (oder einen anderen Operateur) induziert werden, als wenn die Operateure selbst die Veränderungen vornehmen (Miller, Funk, Goldman et al., 2005). Nach dem Prinzip der Human-centered Automation (Kapitel 2.1.2) müsste der Operateur grundsätzlich die Autorität über den Wechsel von LOA haben (Inagaki, 2003; Wickens & Hollands, 2000). Andere Autoren differenzieren dabei zwischen normalen und abnormalen Situationen und erlauben ein Aushandeln der Autorität: In Normalfällen sollte die Autorität in der Hand des Operators liegen, dagegen sollte die Automation nur dann Autorität haben, wenn abnormale Situationen eintreten bzw. die Fähigkeiten oder Zustände des Operators dies erfordern (Clamann & Kaber, 2003; Flemisch et al., 2012). Darüber hinaus haben viele Operateure Schwierigkeiten, von der Automation generierte Vorschläge und Entscheidungen zu akzeptieren (Funk & Miller, 2001; Miller & Parasuraman, 2007) und zudem das Bedürfnis, selbst die Kontrolle zu behalten (z. B. Lemoine, Debernard & Millot, 1995). Dieser „need for control and for choice“ (Leotti, Iyengar & Ochsner, 2010, S. 457) ist unabhängig von der Interaktion zwischen Mensch und Maschine und biologisch beim Menschen verankert. Studien, die sich der Frage nach der Initiation objektiv nähern, liefern ein kontroverses Bild, wobei die Autorität des Operators mal förderlich (z. B. Sauer et al., 2011), mal unförderlich (Sauer et al., 2013) für die Leistung ist (von Bernstorff & Nachtwei, 2013). Gefahren bei der Autorität durch den Operateur sind in der dann inadäquaten Nutzung der Automation (z. B. Parasuraman & Riley, 1997) zu sehen, weil dem Operateur das erforderliche mentale Modell für deren Nutzung fehlt (Stanton, Young & McCouder, 1996) oder die Operateure falsche Erwartungen an bzw. andere Intentionen als die Automation haben (Inagaki, 2010). Entwickler haben es schwer, die über Jahre kulturell beeinflussten Kognitionen und Verhaltensweisen (Feigh et al., 2012; Sheridan & Parasuraman, 2005) von Operateuren zu modellieren und vorherzusagen, um zu ermöglichen, dass Automation und Operateur gemeinsame Annahmen teilen (Sheridan & Parasuraman, 2005). Als Konsequenz folgen Operateur und Automation unterschiedlichen Regeln. Ein Beispiel, das auch Norman (2007) eingängig beschreibt, ist die Funktionsweise der Adaptive Cruise Control (ACC): Bei inadäquater Nutzung kann das Überholmanöver, das ein

kurzfristiges dichtes Auffahren zum Vordermann erfordert, durch Abbremsen (aufgrund des zu geringen Abstands zum Vordermann) verhindert oder eine plötzliche Beschleunigung nach einem Spurwechsel produziert werden, da kein vorausfahrendes Fahrzeug mehr existiert. Das vielfach untersuchte Phänomen der ungewollten Beschleunigung (Schmidt, 1993) ist beispielsweise beim Wechseln von der breiten auf die schmale Spur in Autobahnbaustellen höchst kritisch. Fahrer haben Probleme, rechtzeitig oder korrekt wieder einzugreifen und treten (teilweise sogar noch verstärkend) auf das Gas-, anstelle, wie gewollt, auf das Bremspedal. Solche Szenarien demonstrieren das fehlende Verständnis des Fahrers über eine korrekte Interaktion mit dem ACC System (Marsden, McDonald & Brackstone, 2001) und stellen einerseits die Antizipationsleistung von Entwicklern, andererseits die Fähigkeit bzw. Autorität des Operators über das Zuweisen und Verändern der Kontrolle in Frage (Stanton et al., 1996).

Eine geteilte Autorität im Sinne von Scerbo (2006) oder Wickens und Hollands (2000) erscheint überdies im Hinblick auf das Erreichen einer effektiven, effizienten und sicheren Prozessüberwachung und -führung nur wenig sinnvoll. Die Autorität zu teilen bedeutet, die Entscheidung über die Zuweisung von Kontrolle stets erst auszuhandeln und damit von vornherein zu verlagern. Naheliegender scheint es, die Autorität an den Operator und die Automation initial in Form einer Ausgangs- bzw. Default-Einstellung (einem Modus, der beim Start der Mensch-Automation-Interaktion aktiviert ist) zuzuweisen. Üblicherweise geschieht diese Zuweisung durch den Entwickler (Flemisch et al., 2012). Bei aller Kritik an den statischen Design-Entscheidungen traditioneller Ansätze der Funktionsallokation kommen Ansätze der DFA bei der Autoritätsfrage somit nicht um Voreinstellungen durch Entwickler herum. Der Entwickler bestimmt nun zwar nicht mehr über die Kontrollebene: Statt der Zuweisung von Aufgaben implementiert er Regeln für das eigenständige Zuweisen von Aufgaben zwischen den Akteuren. Jedoch entscheidet der Entwickler bereits zu einem früheren Zeitpunkt die initiale Autoritätsfrage und implementiert Regeln für das Aushandeln der Autorität im Konfliktfall. Die Frage ist dann, wie Entwickler die Kooperation zwischen Mensch und Automation unterstützen und die Qualität einer solchen Kooperation bemessen können (Skjerve & Skraaning, 2004).

Die Kontrolle, das heißt das Ausführen einer Funktion, liegt nach Wickens und Hollands (2000) entweder bei dem Operator oder der Automation. Dagegen sehen andere Autoren auf Basis von Konzepten wie der Shared Control (Kapitel 5.1 und 5.4)

oder den Stufen 2 bis 9 im LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978) sehr wohl auch die Möglichkeit einer geteilten Aufgabenausführung durch Operateur *und* Automation. Im LOA-Modell lassen sich analog die manuelle (LOA 1) und automatische (LOA 10) Kontrolle von einer teilautomatischen (LOA 2 bis 9) Kontrolle abgrenzen. Flemisch et al. (2012) haben die geteilte Kontrolle durch Operateur und Automation in Form eines kontinuierlichen Assistenz- und Automationsspektrums (Abbildung 5) veranschaulicht.

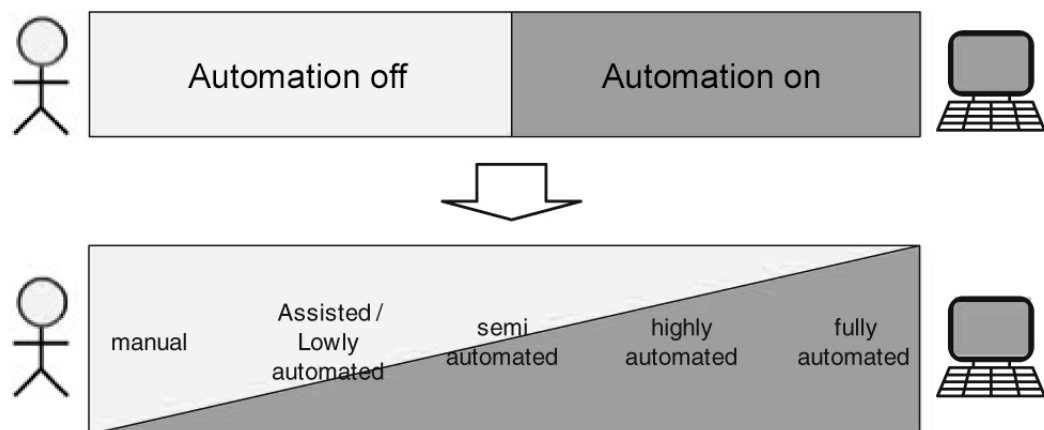


Abbildung 5. Assistenz- und Automationsspektrum modifiziert nach Flemisch et al. (2003, 2008, 2012).

In diesem verdeutlichen sie sehr eingängig, wie beide, Operateur und Automation gemeinsam, (mehr oder weniger) zur Kontrolle beitragen können, anstatt einen „Switch“ zwischen rein manueller und rein automatischer Kontrolle einleiten zu müssen (Flemisch et al., 2012, S. 8). Auf dem Spektrum von manueller zu vollautomatischer Kontrolle lassen sich Areale unterschiedlicher Kontrollanteile einordnen wie assistiert/gering automatisiert (Operateur übernimmt überwiegende Kontrollanteile), semi-automatisiert (beide haben in etwa gleich viel Kontrolle) oder hoch-automatisiert (Automation hat überwiegenden Anteil an Kontrolle). Das Spektrum kann somit auch als kontinuierliche Darstellung der LOA 1 bis 10 von Sheridan und Verplank (1978) bezeichnet werden. Es geht jedoch insofern über das LOA-Modell hinaus, als dass Flemisch et al. (2012) auch Annahmen über die Art des Wechsels der LOA machen, die bei Sheridan und Verplank (1978) fehlen (Kapitel 5.1.2). Dabei gehen Flemisch et al. (2012) gemäß der Annahmen zur kooperativen Automation (Kapitel 2.2) von dynamischen Übergängen („transitions in control“, S. 14) aus, die durch den autoritativen Akteur eingeleitet werden. Es werden sogar Bewertungskriterien für solche Transitionen geliefert, indem Übergänge beispielsweise dann als erfolgreich

eingestuft werden, wenn (fremd und selbst eingestufte) Fähigkeiten des Ausführenden vorhanden sind.

Die Unterscheidung der beiden zentralen Konzepte Autorität und Kontrolle wird somit in der Literatur bereits gemacht, wenn dabei die Begrifflichkeiten auch unstrukturiert bzw. uneinheitlich verwendet werden. Dabei werden je nach Autor Operateur, Automation oder beide in der autoritativen bzw. ausführenden Rolle gesehen. Die eigentlich naheliegende Ableitung konkreter Szenarien, die sich aus der Beantwortung beider Fragen nach Autorität und Kontrolle ergibt, wird aber bisher nicht oder nicht systematisch vorgenommen. Flemisch et al. (2012) befassen sich aktuell als einzige Autoren mit Operateur und Automation als (zugleich) autoritative und kontrollierende Akteure. Allerdings beleuchten sie mögliche Szenarien eher exemplarisch denn systematisch. Damit ist das Entwerfen systematischer empirischer Ansätze erschwert, in welchen die Auswirkungen spezifischer Szenarien untersucht werden könnten. Aktuelle empirische Untersuchungen dazu, wie sich Autorität des Operators oder der Automation und/oder der Kontrolle durch diese Akteure beispielsweise auf die Leistung oder Zustände des Operators auswirken, sind, wie auch im Folgenden noch näher beleuchtet wird (Kapitel 5.5.3), selten. Zudem leiden sie oft unter einer unzureichenden theoretischen Fundierung sowie der oben genannten uneinheitlichen Verwendung der Konzepte. Es wird daher zunächst auf theoretischer Ebene eine fundierte Grundlage benötigt, die sich konkreten, messbaren Formen der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation unter Berücksichtigung statischer wie dynamischer Wechsel im Sinne von Flemisch et al. (2012) widmet. Mit dem folgenden Abschnitt (Kapitel 5.5.2) soll ein solcher Beitrag geliefert werden. Dabei werden auf Basis dieses Kapitels Autorität und Kontrolle auch schematisch zueinander in Bezug gesetzt und ausgehend davon unterschiedliche Formen der (statischen wie dynamischen) Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation abgeleitet.

5.5.2 Formen der Kooperation von Operateur und Automation

In dieser Arbeit werden Autorität und Kontrolle in Übereinstimmung mit Wickens und Hollands (2000) und Flemisch et al. (2012) explizit als zwei wesentliche, unterschiedliche Aspekte der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation angesehen. In Anlehnung an die bei Flemisch et al. (2012) gelieferten Definitionen ist mit Autorität die Befugnis gemeint, Entscheidungen (in diesem Fall bezüglich der

Kontrolle) zu treffen und die Kontrolle an Operateur, Automation oder beide zu geben bzw. die Kontrollanteile zu verändern. Kontrolle meint hingegen die Ausführung einer Funktion zur Unterstützung bzw. im Rahmen einer Handlungsphase.

Die Frage, wer jeweils Kontrolle und/oder Autorität innehat, betrifft dabei dieselben Akteure, Operateur und Automation (oder beide), muss jedoch jeweils auf zwei unterschiedlichen Ebenen, der Ausführungsebene (Kontrolle) und Entscheidungsebene (Autorität), beantwortet werden. Abhängig davon, wer die Autorität für die Zuweisung und Veränderung der Kontrollanteile (bei Flemisch et al. (2012, S. 5): „Distribution“) und wer die Kontrolle von Funktionen übernimmt, sind theoretisch unterschiedliche Formen der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Automation denkbar. Die Art der Übergänge bzw. die Art, wie Kontrollanteile verändert werden, hängt dann zusätzlich auch mit der Flexibilität der zugrunde liegenden Automation zusammen, das heißt damit, ob diese flexibel oder nicht-flexibel ist. Die Aspekte *Autorität* zur Vergabe und Veränderung von Kontrolle, die *Kontrolle* selbst, die *Flexibilität* der Automation sowie die Art möglicher *Übergänge*, werden schematisch in einem Rahmenmodell bezüglich ein und derselben Funktion angeordnet (Abbildung 6).

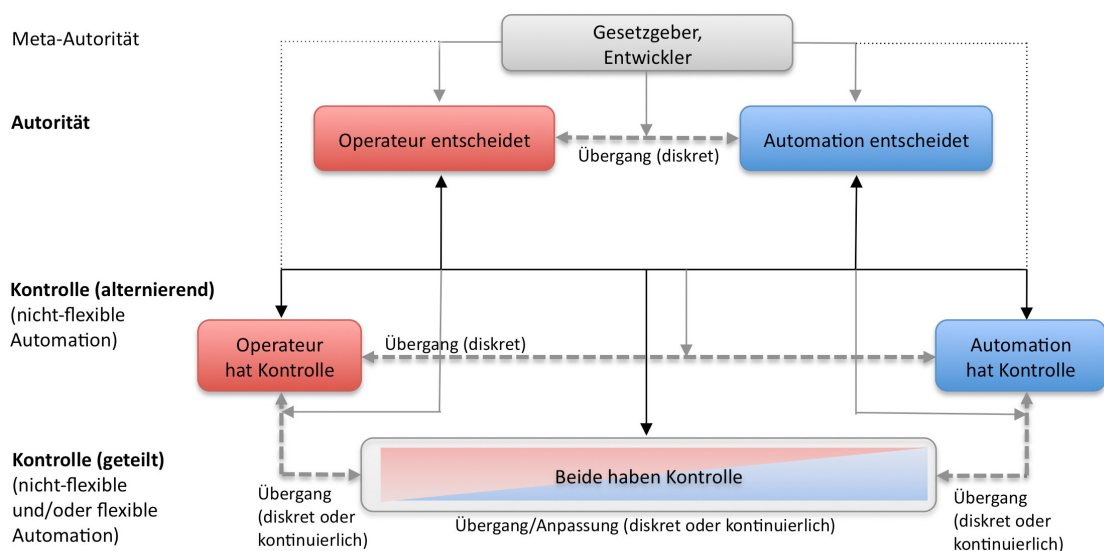


Abbildung 6. Rahmenmodell für Formen der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation in Abhängigkeit von deren Autorität und Kontrolle. Entwickler weisen Autorität entweder Operateur oder Automation zu, welche wiederum Kontrolle zuweisen oder verändern können. Kontrolle können Operateur, Automation oder beide gemeinsam haben. Abhängig von der Flexibilität der zugrunde liegenden Automatikfunktionen erfolgen Übergänge der Kontrolle diskret oder kontinuierlich. Jede Veränderung der Kontrolle hat Rückwirkungen auf Operateur und Automation. (Die gepunkteten Linien oben links und rechts repräsentieren die traditionelle A-priori-Funktionsteilung (Kapitel 2.1.1)).

Autorität und Meta-Autorität. In Abbildung 6 sind Autorität und Kontrolle sowie eine übergeordnete Autoritätsinstanz (hier als Meta-Autorität bezeichnet) hierarchisch zueinander in Bezug gesetzt. Auf der Ebene *Autorität* wird beschrieben, welcher Akteur prinzipiell über die Zuweisung und Veränderung der Kontrollanteile entscheiden kann. Als entscheidende Organe werden entweder Operateur oder Automation verstanden. Denkbar ist, dass die Autorität als Default- bzw. Voreinstellung wiederum durch eine übergeordnete Instanz (Meta-Autorität) vergeben wird. Diese übergeordnete Instanz könnte ein Entwickler sein, der (möglicherweise nach Vorgaben des Gesetzgebers) die Autorität an entweder Operateur oder Automation vergeben wird. Später im Echtzeitprozess kann diese Voreinstellung dann auch in Abhängigkeit vorher genannter Kriterien wie Zustand des Operators, des Systems oder Umweltbedingungen verändert werden. Ob Operateur oder Automation Autorität haben, hängt somit in Übereinstimmung mit Flemisch et al. (2012) in der Ausgangslage von einer Voreinstellung durch den Entwickler ab. Beispielsweise kann orientiert an der Human-centered Automation (Kapitel 2.1.2) dem Operateur zunächst die Autorität zugewiesen, diese Voreinstellung jedoch während des Prozesses verändert werden: Wenn es bestimmte Kriterien (zum Beispiel Zustand und Leistung des Operators und/oder der Automation und/oder (soziale oder physikalische) dynamische Umweltbedingungen (Kapitel 5.3.2)) erfordern, kann auch die Automation Autorität erhalten, um einen Wechsel des LOA herbeizuführen.

Von einer (gleichzeitig) geteilten Autorität im Sinne von Wickens und Hollands (2000) und Scerbo (2006) wird nicht ausgegangen. Im Endeffekt kann die Autorität stets nur einer der beiden Akteure innehaben, entweder Operateur oder Automation (bzw. Entwickler). Somit können beide Akteure nicht simultan Autorität haben, diese jedoch in bestimmten Situationen aushandeln (Flemisch et al., 2012; Inagaki & Sheridan, 2012). Art des Übergangs der Autorität und mögliche Ausgänge eines solchen Aushandelns werden wiederum im Vorhinein auf Ebene der Meta-Autorität, zum Beispiel durch den Entwickler, festgelegt. Prinzipiell sind somit entweder Operateur oder Automation in der Lage, zu entscheiden, wer (schwarze durchgezogene Linien) Kontrolle übernimmt und ob und wann Wechsel der Kontrolle bzw. Kontrollanteile initiiert werden (graue durchgezogene Linien). Dabei ist mit dem Initiieren sowohl das Einschalten als auch das Ausschalten der Automation gemeint. Schaltet sich die Automation allein ein und aus, wird die Automation als *aktiv* (oder proaktiv, Wandke, 2005; Kapitel 2.2.2) bezeichnet. Schaltet der Operateur sie ein und aus, wird sie als

passiv (Wandke, 2005; Kapitel 2.2.2) bezeichnet. Daneben sind Kombinationen denkbar: Als *passiv-aktiv* soll der Fall bezeichnet werden, in dem eine Automation durch den Operateur eingeschaltet wird, sich jedoch von selbst wieder ausschaltet. Der umgekehrte Fall *aktiv-passiv* beschreibt dagegen, dass sich eine Automation von selbst einschaltet, jedoch durch den Operateur wieder ausgeschaltet werden kann. Derjenige in der autoritativen Rolle hat dabei buchstäblich das „letzte Wort“. Wie genau diese Wechsel vor sich gehen, hängt, wie zuvor erwähnt, auch mit der Flexibilität der Automation zusammen.

Kontrolle. Die Kontrolle, das heißt die Ausführung der zugrunde liegenden Funktion, können der Operateur allein, die Automation allein, jedoch auch beide gemeinsam übernehmen. Im Gegensatz zur Autorität, welche letztendlich einer der beiden Akteure ausschließlich innehat, ist auf Ebene der Kontrolle auch eine geteilte Ausführung einer Funktion möglich und deren Implementierung in der Praxis, beispielsweise im (Flug-)Verkehrswesen, „state of the art“. Somit lassen sich auf Kontrollebene auch analog der ursprünglich vorgeschlagenen zehn LOA (Sheridan & Verplank, 1978) zunächst einmal die manuelle (Operateur hat Kontrolle, LOA 1), automatische (Automation hat Kontrolle, LOA 10) oder eine teilautomatische Funktionsausführung (beide haben Kontrolle, LOA 2-9), hier jedoch bezogen auf ein und dieselbe Funktion, nicht auf eine Handlungsphase, voneinander abgrenzen. Die geteilte Kontrolle wird in Abbildung 5 mithilfe des Automationsspektrums von Flemisch et al. (2003, 2008, 2012) visualisiert. Allerdings werden manuelle und vollautomatische Kontrolle, eigentlich bereits im Automationsspektrum enthalten, dennoch separat betrachtet, um auch alternierende Übergänge besser veranschaulichen zu können. Abhängig davon, wer Autorität, das heißt die Kontrolle zugewiesen hat und ob es sich um eine nicht-flexible oder flexible Automation handelt, lassen sich unterschiedliche Fälle der Kontrolle bzw. Zusammenarbeit von Operateur und Automation ausdifferenzieren.

Bei der Zuweisung von Kontrolle kann auch danach unterschieden werden, ob das jeweilige LOA statisch und damit endgültig vergeben wurde oder ob die Zuweisung von Kontrolle dynamisch erfolgt und damit auch ein Wechsel von LOA bzw. zu mehr oder weniger Kontrolle möglich ist. Wie bereits in der Einleitung dieses Kapitels beschrieben, hätte im ersten, statischen Fall der Entwickler die Autorität und damit zu einem früheren Zeitpunkt über die Zuweisung der Kontrolle an Operateur und/oder Automation entschieden. Im Fall der dynamischen Zuweisung von Kontrolle

entscheidet der autoritative Akteur, so zum Beispiel im Normalfall der Operateur (und in spezifischen Fällen die Automation bzw. der Entwickler), ob und wann im Prozess er sich selbst oder der Automation (mehr oder weniger) Kontrolle zuweist.

Haben Operateur oder Automation Autorität und entscheiden, die Kontrolle entweder komplett zu behalten oder dem anderen jeweils komplett zu übertragen, erfolgt die manuelle Kontrolle der Funktion (nur Operateur hat Kontrolle) oder die vollautomatische Kontrolle (nur die Automation hat Kontrolle). Eine Zusammenarbeit beginnt dann, wenn ein Wechsel (durch Operateur oder Automation) eingeleitet und die vollständige Kontrolle oder Teile der Kontrolle von einem zum anderen Akteur übertragen werden bzw. dann, wenn die Kontrolle von beiden gemeinsam ausgeführt wird. Wird jeweils die vollständige Kontrolle für die Funktion zwischen Operateur und nicht-flexibler Automation übertragen, kann auch von alternierender Kontrolle oder Delegation der Funktion im Sinne einer 0-1-Entscheidung gesprochen werden. Der zuvor ausführende Akteur ist nach dem Wechsel selbst an der Ausführung der Aufgabe nicht mehr beteiligt, bis ein erneuter Wechsel vollzogen und ihm die vollständige Kontrolle zurückübertragen wird. Hiermit wird der einfachste Fall einer Kooperation zwischen Mensch und Automation (Kienle et al., 2009) beschrieben. Die nicht-flexible Automation arbeitet über alle Nutzer und Situationen hinweg auf dieselbe Art und Weise (Wandke, 2005). Eine geteilte Ausführung der Funktion und/oder Anpassung dieser Automation durch den Nutzer oder die Anpassung der Automation an Umstände oder Bedürfnisse des Nutzers erfolgt nicht. Beispielsweise kann der Operateur einen Wechsel einleiten, um die vorher selbst übernommene Kontrolle der Funktion vollständig an die Automation zu übergeben. Er selbst hat dann solange keine Kontrolle mehr über die Funktion, bis er entscheidet, die Automation zu deaktivieren und die Kontrolle wieder vollständig zu übernehmen. Entscheidet die Automation wiederum, die zuvor selbst ausgeführte Funktion komplett an den Operateur zu übergeben, würde hierunter ein Störfall fallen, in welchem die Automation ausfällt und der Mensch plötzlich und möglicherweise unvorbereitet die vollständige Kontrolle übernehmen muss.

Die Kontrolle einer Funktion können sich Operateur und Automation ebenso teilen. Die Kontrolle erfolgt dann nicht mehr alternierend, d.h zeitlich versetzt, sondern zeitgleich im Sinne einer gegenseitigen Anpassung durch Operateur und Automation. Ob es sich bei dieser geteilten Kontrolle um kooperative Automation im eigentlichen Sinne handelt, hängt somit davon ab, ob die zugrunde liegende Automation selbst

flexibel oder nicht-flexibel ist. Die geteilte Zusammenarbeit des Operators mit einer nicht-flexiblen Automation ist nicht als kooperative Automation im engeren Sinne (z. B. Flemisch et al., 2012) zu verstehen. Operator und Automation übernehmen zwar beide die Ausführung derselben Funktion, währenddessen erfolgt jedoch keine Anpassung der Automation an bzw. durch den Nutzer. Bei der kooperativen Automation handelt es sich in Übereinstimmung mit Scerbo (2006) um die Zusammenarbeit des Operators mit ausschließlich flexiblen (adaptiven und adaptierbaren) Automatikkonzepten. Wie bereits in Anlehnung an Wandke (2005) in Kapitel 2.2.2 definiert, bezeichnet adaptiv das eigenständige Anpassen der Automation, adaptierbar dagegen die Anpassung bzw. Konfiguration der Automation durch den Operator.

Übergänge. Sowohl auf Autoritätsebene als auch auf Kontrollebene sind unterschiedliche Arten von Übergängen möglich, welche in Abbildung 6 durch die gestrichelten Linien repräsentiert werden. Auf Autoritätsebene kann die (üblicherweise durch den Entwickler, Flemisch et al., 2012) voreingestellte Autorität abhängig von bestimmten Situationen oder Zuständen des Operators oder des Systems (siehe Pfeilrichtung jeweils zu Operator und Automation hinführend) vom Operator zur Automation übergehen oder umgekehrt. Damit wird auch berücksichtigt, dass jeder induzierte Wechsel der Kontrolle – vermittelt über die Autorität – nicht nur selbst indirekt abhängig von aktueller Leistung und Zuständen des Gesamtsystems ist, sondern jeder induzierte Wechsel wiederum selbst einen aktiven Einfluss auf besagte Leistung und Zustände von Operator und/oder Automation hat. Die Art des Übergangs der Autorität erfolgt diskret, wie beispielsweise im Falle der Air France AF447, als sich der Autopilot regelkonform abschaltete und damit die Autorität (und Kontrolle) von der Automation an den Operator übergang.

Auf Kontrollebene erfolgen die Übergänge entweder diskret und/oder kontinuierlich. Im Zuge der alternierenden Kontrolle finden die Wechsel der Kontrolle diskret statt. Üblicherweise schaltet der Operator hier die (nicht-flexible) Automation ein und/oder aus. Diese kann jedoch auch ohne Intention des Operators, zum Beispiel durch einen Störfall, ausgeschaltet werden. Ein Austausch mit der Automation bzw. eine gegenseitige Anpassung im Sinne von mehr oder weniger Kontrolle ist dann nicht möglich. Die Übergänge im Zuge der geteilten Kontrolle können sowohl von rein manueller oder vollautomatischer zu teilautomatischer Kontrolle (und umgekehrt) als auch innerhalb der teilautomatischen Kontrolle im Sinne von Anpassungen der geteilten

Kontrolle stattfinden. Wechsel bzw. Anpassungen im Zuge geteilter Kontrolle können sowohl diskret als auch kontinuierlich erfolgen. Im Falle nicht-flexibler Automation kann diese durch den Operateur beispielsweise auf Knopfdruck hinzugeschaltet werden. Der Operateur kann dann gemeinsam mit dieser Automation die Funktion ausführen (regeln). Ebenso kann eine flexible Automation diskret hinzugeschaltet (und ggf. konfiguriert) werden, welche sich anschließend kontinuierlich nach bestimmten Kriterien anpasst. Es sind ebenso kontinuierliche Übergänge zu mehr oder weniger Kontrolle denkbar. Ein Beispiel wäre der kontinuierliche Informationsaustausch von Operateur und Automation mithilfe haptischer Interfaces (Griffiths & Gillespie, 2005) oder Stellteile, über welche Autofahrer den Input der Automation direkt über Position, Kräfte und weitere haptische Signale spüren können (Heesen et al., 2010).

Formen der Kooperation. Abhängig von Autorität, Kontrolle und Flexibilität der Automation lassen sich von diesem Rahmenmodell unterschiedliche Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation ableiten, die in Tabelle 2 aufgeführt werden. Bei Autorität des Operators lässt sich die alternierende Kontrolle, das heißt die alternierende Zusammenarbeit zwischen Operateur und nicht-flexibler Automation, näher als *passiv-alternierend* (Operateur kontrolliert den Wechsel) oder *aktiv-passiv-alternierend* (Automation schaltet sich ein, Operateur schaltet sie aus) beschreiben. Bei Autorität der Automation lässt sich die Zusammenarbeit dagegen als *aktiv-alternierend* (Automation kontrolliert den Wechsel) oder *passiv-aktiv-alternierend* (Operateur schaltet Automation ein, Automation schaltet sich aus) beschreiben.

Tabelle 2. Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation

	Alternierende Kontrolle (nicht-flexible Automation)	Geteilte Kontrolle (nicht-flexible Automation)	Geteilte Kontrolle (flexible Automation; kooperative Automation)
Operateur hat Autorität	passiv-alternierend aktiv/passiv-alternierend	passiv-geteilt aktiv/passiv-geteilt	passiv-adaptierbar passiv-adaptiv aktiv/passiv-adaptierbar aktiv/passiv-adaptiv
Automation hat Autorität	aktiv-alternierend passiv/aktiv-alternierend	aktiv-geteilt passiv/aktiv-geteilt	aktiv-adaptiv aktiv-adaptierbar passiv/aktiv-adaptiv passiv/aktiv-adaptierbar

Die geteilte Kontrolle von Operateur und nicht-flexibler Automation kann analog in *passiv-geteilt*, *aktiv-passiv-geteilt*, *aktiv-geteilt* oder *passiv-aktiv-geteilt* ausdifferenziert werden. Der Unterschied zwischen den alternierenden und den geteilten Kooperationsformen liegt darin, dass die Kontrolle im letzteren Fall nicht vollständig, sondern nur teilweise wechselt. Die anschließend geteilte Kontrolle erfolgt jedoch im Gegensatz zu den flexiblen Kooperationsformen ohne eine gegenseitige, dynamische Anpassung von Operateur und Automation.

Bei der geteilten Kontrolle einer Funktion durch Operateur und flexible Automation lassen sich jeweils für Autorität des Operators und der Automation vier Kooperationsformen unterscheiden. Der Anteil an Kontrolle durch den Operateur nimmt dabei jeweils zunehmend ab. Der Anteil an Kontrolle durch die Automation nimmt zu. Im *passiv-adaptierbaren* Fall wird die Automation durch den Operateur aktiviert und deaktiviert. Die Anpassung der Automation erfolgt dann nach Kriterien, welche der Operateur vorgegeben hat. Den Großteil der Kontrolle behauptet der Operateur somit für sich. Der *passiv-adaptive* Fall unterscheidet sich von dem erstgenannten darin, dass die Automation sich selbst nach bestimmten Parametern anpasst. Daneben kann sich die Automation auch selbst einschalten und anpassen. Die Autorität des Operators wird gewahrt, in dem er die Automation sowohl konfigurieren als insbesondere auch wieder ausschalten kann; dies wäre der *aktiv-passiv-adaptierbare* Fall. Der vierte und letzte Fall der *aktiv-passiv-adaptiven* Automation erlaubt dem Operateur nicht mehr die Konfiguration, jedoch das Ausschalten des automatischen Systems.

Für die geteilte Kontrolle durch Operateur und flexible Automation, deren Anteile in diesem Fall durch die Automation als autoritative Instanz zugeteilt werden, lassen sich wieder vier Fälle unterscheiden. Der Anteil der Kontrolle durch die Automation nimmt über diese vier Fälle zu, die des Operators nimmt ab. Im *passiv-aktiv-adaptierbaren* Fall schaltet der Operateur die flexible Automation ein und passt sie für sich an. Die Automation entscheidet jedoch selbst, wann sie sich wieder ausschaltet. Im *passiv-aktiv-adaptiven* Fall kann der Operateur die Automation noch einschalten, die Konfiguration und das Abschalten übernimmt diese jedoch selbst. Bei noch stärkerer Kontrolle durch die Automation (*aktiv-adaptierbar*) übernimmt die Automation das Ein- und Ausschalten selbständig, der Operateur hat die Möglichkeit, die Automation noch zu konfigurieren. Im *aktiv-adaptiven* Fall wird auch die Konfiguration durch die Automation übernommen. Die acht beschriebenen Fälle der geteilten Kontrolle sind als

konkrete Formen kooperativer Automation zu verstehen, da hier dynamische Wechsel von LOA im Vordergrund stehen.

Das Ableiten solcher theoretischer Kooperationsformen kann zugleich als Grundlage für konkrete Untersuchungsansätze verstanden werden, bei denen jeweils nicht nur *Autorität* (Operateur vs. Automation) und *Kontrolle* (Operateur, Automation oder beide) generell, sondern zudem darüber hinaus die *Flexibilität* der zugrunde liegenden Automation (nicht-flexible vs. flexible Automation) manipuliert werden können. Insbesondere im Falle flexibler Automation können trennscharfe Formen kooperativer Automation im Einfluss auf Leistung und Zustände der Akteure bzw. des Gesamtsystems überprüft werden. Auf diesen Mehrwert sowie auf kritische Aspekte des Rahmenmodells zur Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation wird im Folgenden näher eingegangen.

5.5.3 Brückenschlag zur Empirie: Theoretische Kooperationsformen als Grundlage für einen iterativen, empirischen Ansatz

Das im vorherigen Kapitel vorgeschlagene Rahmenmodell (Abbildung 6) erlaubt es, Formen der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation (in Bezug auf ein und dieselbe Funktion) zum einen abhängig von deren Autorität und/oder Kontrolle abzuleiten. Zum anderen wird danach differenziert, ob die zugrunde liegende Automation, mit welcher kooperiert wird, flexibel oder nicht flexibel ist. Damit werden drei der in Abbildung 6 (Kapitel 5.4) veranschaulichten relevanten Fragestellungen für die DFA berücksichtigt, die bisher in theoretischen Modellen und empirischen Studien noch zu kurz kommen: Wer führt aus (Kontrolle)? Wie erfolgt die Ausführung? Wer entscheidet über die Ausführung (Autorität)?

Zahlreiche Forscher haben sich bereits mit der automatischen Unterstützung in bzw. von Handlungsphasen der Prozessüberwachung und -führung (Endsley & Kaber, 1999; Parasuraman et al., 2000; Wandke, 2005) beschäftigt. Insbesondere das LOA-Modell (Sheridan & Verplank, 1978; Kapitel 5.1) bzw. dessen Erweiterung von Parasuraman et al. (2000; Kapitel 5.2), bei der die LOA in Bezug zu vier Informationsverarbeitungs- und Handlungsphasen gesetzt werden, dienen heute – trotz diverser kritischer Punkte – als Grundlage, um den Effekt unterschiedlicher Automationskonzepte und Automationsgrade auf Leistung oder Leistungsdeterminanten, zum Beispiel Workload oder Situationsbewusstsein von

Operateuren zu analysieren (z. B. Onnasch, Wickens, Li & Manzey, 2014; Kaber & Endsley, 2004; Parasuraman & Manzey, 2010; Sauer et al., 2013; Kapitel 5.1.2). Wie bereits in Kapitel 5.1.2 und anderer Stelle (z. B. von Bernstorff & Nachtwei, 2013) diskutiert, zeichnen sich bisherige Studien dabei durch eine höchst inkonsistente Befundlage zum Effekt sowohl von Automationsstufen, als auch von Automationskonzepten (statisch oder flexibel) auf die Leistung und Leistungsdeterminanten von Operateuren aus. Generelle Aussagen über die Wirkung von LOA oder Automationsgraden scheinen insbesondere aufgrund von stets moderierenden Drittvariablen nur wenig zielführend zu sein. Zu solchen Moderatoren gehören nicht nur Kontextvariablen, sondern auch die Art der Implementierung von LOA. In anderen Worten kann auch die Flexibilität der Automation selbst einen Einfluss haben, welche entsprechend bereits bei der theoretischen Ableitung von Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation eine große Rolle spielt. Ob die Automation flexibel ist (das heißt, sich an den Nutzer anpasst (adaptiv) oder der Nutzer sie für sich anpasst (adaptierbar)) oder nicht flexibel ist (das heißt sich nutzer- und situationsunabhängig nach konstantem Regelwerk verhält (Wandke, 2005)), wird sowohl im LOA-Modell von Sheridan und Verplank (1978), als auch im Modell von Parasuraman et al. (2000) nicht direkt berücksichtigt. Ebenso bleibt in beiden Modellen die Autoritätsfrage offen, nämlich, wer genau einen möglichen Wechsel von LOA bzw. die Veränderung der Kontrollanteile vornimmt. Darauf geben Wickens und Hollands (2000) zwar eine Antwort, dennoch fehlt auch bei ihnen eine Aussage, wie sich insbesondere die geteilte Kontrolle von Funktionen genau ausgestaltet. Beiden Aspekten, Autorität und Kontrolle und insbesondere der Frage nach den Übergängen von mehr oder weniger Kontrolle, widmen sich systematisch bisher nur Flemisch und Kollegen (z. B. Flemisch et al., 2012). Allerdings werden diese Aspekte von diesen Autoren bisher überwiegend theoretisch und global zueinander in Bezug gesetzt. Die Ableitung konkreter Hypothesen bzw. systematische empirische Erhebungen zum Zusammenhang von Autorität und Kontrolle mit der Leistung oder dem Workload und Situationsbewusstsein von Operateuren stehen noch aus.

Mit dem hier präsentierten theoretischen Bezugsrahmen zur Zusammenarbeit von Operateur und Automation werden die als zentral und bisher zu wenig beachteten Aspekte Autorität und Kontrolle genutzt, um Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation nicht nur theoretisch ableiten, sondern auch empirisch überprüfen zu können. In bestehenden Modellen, insbesondere in den drei diskutierten

(Kapitel 5.1 bis 5.3), spielen Autorität und Kontrolle bzw. Kontrollanteile meist eine implizite Rolle, indem man nach Inagaki (2003) beispielsweise von den LOA auf die Autorität des Operators (LOA 1 bis 5) oder der Automation (LOA 6-9) schließen kann. Dagegen kann anhand des vorgeschlagenen Rahmenmodells explizit durchgespielt werden, welcher autoritative Akteur wen zur Kontrolle einer Funktion befähigen kann. Ebenso lässt sich vom Modell ableiten, ob die vollständige Kontrolle dann alternierend durch Operator oder Automation oder geteilt von beiden ausgeführt wird und ob ein gegenseitiger Austausch der Akteure möglich ist oder nicht. Das Resultat sind konkret formulierte Kooperationsformen zwischen Operator und Automation, die von einfachen Fällen der Zusammenarbeit zur kooperativen Automation im engeren Sinne reichen. Als weitere Stärke des Rahmenmodells ist der explizite Einbezug von Entwicklern (bzw. deren Orientierung an gesetzmäßigen Vorgaben) in Form einer Meta-Autorität zu sehen. Damit wird der zuvor mehrfach geäußerten Forderung nachgekommen, die Rolle von Entwicklern sowohl theoretisch (Kapitel 1.2 und 2.2.2), als auch praktisch (Kapitel 3) stärker bei der Analyse, Gestaltung und Bewertung der Mensch-Automation-Interaktion zu berücksichtigen.

Mit dem Rahmenmodell zur Kooperation von Operator und Automation werden allerdings selbst noch keine konkreten Vorhersagen in Bezug auf die resultierende Leistung oder auf leistungsrelevante Zustände von Operateuren gemacht. Denkbar wäre es, von spezifischen Kooperationsformen oder von bestimmten Arten des Wechsels auf solche Kriterien zu schließen. Das Modell bietet jedoch sehr wohl ein Fundament für methodologische Aussagen: Einerseits stellen die Kooperationsformen eine sehr feingliedrige, wenig sparsame Ausdifferenzierung der Zusammenarbeit zwischen Operator und Automation dar. Andererseits wird diese Feingliedrigkeit im Hinblick auf eine differenziertere Aussage zu Effekten von Automationsstufen und -konzepten gerade benötigt. Die von dem Rahmenmodell abgeleiteten Kooperationsformen lassen sich durch ihre trennscharfe Charakterisierung (wer genau schaltet adaptive, adaptierbare oder nicht-flexible Automation ein und/oder aus) direkt in praktische Automationskonzepte umsetzen und so in ihrem Effekt auf die Leistung oder andere Kriterien empirisch überprüfen und zudem direkt miteinander vergleichen. Die mithilfe des Rahmenmodells vorgegebene Systematik, welcher die Kooperationsformen folgen, wird in diesem Zusammenhang als großer Mehrwert betrachtet. Zahlreichen Studien, die sich dem Effekt von LOA oder Automationskonzepten widmen, scheint genau diese Systematik zu fehlen. Nicht selten wird bei empirischen Studien der Effekt gleich

mehrerer Automationsstufen bei zusätzlicher Variation der Flexibilität der Automation untersucht und dabei über Studien hinweg der Versuchskontext nicht konstant gehalten oder die jeweils interessierenden LOA unterschiedlich operationalisiert (z. B. Sauer et al., 2011, 2013). Hinzu kommen methodische Problematiken wie eingeschränkte Teststärken aufgrund der oftmals zu geringen Stichprobenumfänge (z. B. bei Sauer et al., 2013). Wie bereits an anderer Stelle diskutiert, sind dann die resultierenden, vielschichtigen Effekte auf die Leistung von Operateuren im Nachhinein nicht immer eindeutig auf die Ausgangsmanipulation zurückzuführen und damit schwer zu erklären (von Bernstorff & Nachtwei, 2013). Das Grundproblem ist hierbei sicher auch wieder in einer unzureichenden theoretischen Konkretisierung von Automationsstufen (Kapitel 5.1.2 und 5.2.2) bzw. in uneinheitlich definierten Automationskonzepten (Kapitel 2.2.2) zu sehen. Es werden bereits auf theoretischer Ebene möglichst spezifische Charakterisierungen von Automationsstufen, -graden und -konzepten benötigt, um der Inkonsistenz auf empirischer Ebene entgegenzuwirken.

Das Rahmenmodell zur Zusammenarbeit von Operateur und Automation erfasst allerdings selbst nicht alle relevanten Aspekte dynamischer Funktionsallokation. Beispielsweise werden zugunsten des Fokus auf Autorität und Kontrolle Kriterien für den Wechsel von LOA im Sinne von Umweltfaktoren, Zuständen und der Leistung von Operateur und System im Rahmenmodell nicht integriert. Zudem bezieht sich die Kooperation von Operateur und Automation auf ein und dieselbe Funktion, ohne dass im Modell explizit der Bezug zu einer oder mehrerer Handlungsphasen hergestellt wird. Andererseits stellt es einen übergreifenden Bezugsrahmen her, von dem aus eine sehr viel genauere Beschreibung möglicher Formen der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation möglich ist, als es bisherige Modelle erlauben. Dabei lassen sich alle Formen anhand des Rahmenmodells stets in vergleichbarer Art und Weise auf die Variation von *Autorität*, *Kontrolle* und *Flexibilität* der Automation zurückführen (und nachträglich auch Handlungsphasen (wie z.B. von Wandke (2005; Kapitel 5.4) vorgeschlagen) zuordnen.) Die drei Aspekte werden mittlerweile in der Literatur als wesentlich für die kooperative Automation erachtet (Kapitel 5.5.1), jedoch nur unzureichend theoretisch wie empirisch berücksichtigt.

Die hier theoretisch abgeleiteten Kooperationsformen ermöglichen durch ihre praktische Umsetzbarkeit einen nahezu direkten Brückenschlag in die Empirie: Werden die Kooperationsformen nun auch in Untersuchungen hinsichtlich eines Zusammenhangs mit jeweils denselben (bzw. auf dieselbe Art und Weise

operationalisierten) Leistungskriterien überprüft, lassen sich diese Formen bzw. deren Effekte auch empirisch miteinander vergleichen. Damit sind wiederum systematische Rückschlüsse darauf möglich, welcher Akteur unter welchen konstant gehaltenen Bedingungen die Kontrolle verändern und/oder die Kontrolle erhalten sollte. Ebenso kann ermittelt werden, unter welchen konstant gehaltenen Bedingungen eher statische vs. adaptive vs. adaptierbare Automationskonzepte empfohlen werden. Derartige Empfehlungen stellen genau die gesuchten Kriterien für die DFA dar, welche in der Literatur bisher nur unzureichend definiert worden sind (Sheridan & Parasuraman, 2005).

Um den beschriebenen Problematiken in der empirischen Vorgehensweise zu begegnen, wird zur eigenen empirischen Überprüfung der Kooperationsformen ein langfristiger und iterativer Ansatz angestrebt (Kapitel 4.2). Dabei können die Kooperationsformen nach und nach mithilfe der zugrunde liegenden Simulationsumgebung, dem ATEO Lab System, in ihrem Effekt auf die Leistung und Leistungsdeterminanten von Operateuren überprüft werden. Versuchskontext, -design und Stichprobengröße werden jeweils konstant gehalten und stets möglichst nur ein Aspekt (Autorität, Kontrolle oder Flexibilität der Automation) pro Bedingung variiert, um den Effekt der experimentellen Manipulation tatsächlich ausweisen zu können. Weiterhin wird eine bestimmte Kooperationsform bei der Prozessüberwachung und -führung immer auch in Bezug zu einer Baseline-Bedingung (rein manuelle Prozessüberwachung und -führung) sowie zu Bedingungen mit anderen, bereits erhobenen Kooperationsformen gesetzt. Für dieses Vorhaben kann die zugrunde liegende Simulationsumgebung, das ATEO Lab System, sukzessive um Automationskonzepte erweitert werden, welche die Überprüfung der jeweils angestrebten Kooperationsform ermöglichen. Gemäß des iterativen Ansatzes bestand das Vorhaben der vorliegenden Arbeit darin, den Effekt dieses einfachsten Falls einer Kooperation zwischen Operateur und Automation (Kienle et al., 2009), welcher auch als *passiv-alternierende Kooperation* (Kapitel 5.5.2) bezeichnet werden kann, auf Leistung und leistungsrelevante Zustände des Operateurs zu überprüfen. Die dafür notwendige technische Erweiterung des ATEO Lab Systems wird detailliert in Kapitel 7.2.3 beschrieben. Fragestellungen und Hypothesen für diesen Vergleich werden im nächsten Abschnitt aufgeführt. Von der empirischen Überprüfung lassen sich dann wiederum Rückschlüsse auf den Wert des Rahmenmodells und der davon abgeleiteten Kooperationsformen ziehen (Kapitel 9).

6. Fragestellungen und Hypothesen

In den vorhergehenden Abschnitten wurden theoretische Grundlagen der Zusammenarbeit von Operateur und Automation erörtert. Insbesondere auf Basis der kritischen Diskussion dreier theoretischer Modelle (Kapitel 5.1 bis 5.3 sowie Kapitel 5.4) wurde ein eigenes Rahmenmodell entworfen, das es erlaubt, spezifische Formen der Kooperation von Operateur und Automation abzuleiten. Um Effekte solcher Kooperationsformen sauber ermitteln zu können, besteht ein Ziel dieser Arbeit darin (Kapitel 4.2), im Rahmen eines iterativen empirischen Vorgehens zunächst den einfachsten Fall einer kooperativen im Vergleich zu einer rein manuellen Prozessüberwachung und -führung in ihrem Effekt auf die Leistung und leistungsrelevanten Zustände des Operators zu untersuchen. Als Simulationsumgebung wird das ATEO Lab System genutzt, welches zu diesem Zweck technisch erweitert wurde (Kapitel 7.2.3): Dem Operateur wird bei der Prozessüberwachung und -führung erlaubt, für die Ausführung bestimmter Hinweise optional eine automatische Unterstützung zu aktivieren. Diese automatische Unterstützung übernimmt dann an seiner statt jeweils die vollständige Kontrolle: Die Automation löst einen entsprechenden Hinweis selbst nach eigenem Regelwerk, unabhängig vom Verhalten des Operators, aus. Dies geschieht so lange, bis der Operateur die Automation wieder deaktiviert. Der Effekt dieser teilautomatischen Prozessführung auf die Leistung und auf leistungsrelevante Zustände von Operateuren wird nun im Vergleich zu einer Baseline-Bedingung (rein manuelle Prozessführung von Operateuren) untersucht. In den folgenden Abschnitten werden Fragestellungen und Hypothesen für diesen Vergleich formuliert.

6.1 Fragestellungen

Fragestellungen im Hinblick auf diesen Vergleich betreffen in erster Linie den Operateur selbst, welcher mit der Automation interagiert. In Studien mit dem ATEO Lab System haben Operateure das Ziel, die Geschwindigkeit und Genauigkeit des Trackings sowie die Anstrengung der Navigatoren zu verbessern (Kapitel 3.3 und 7). Ebenso interessiert, inwiefern die Leistung oder die leistungsrelevanten Zustände der Operateure, wie deren Workload oder Situationsbewusstsein, mit unterschiedlichen Arten der Prozessüberwachung und -führung zusammenhängen. In Bezug auf einen

möglichen Effekt der teilautomatischen Prozessüberwachung und -führung (passiv-alternierende Kooperationsform) muss hinterfragt werden, ob diese Kooperationsform als erfolgreich bezeichnet werden kann, das heißt, ob Leistung und Zustände des Operators auch von dieser Kooperation profitieren. Da die tatsächliche Nutzung der (optional angebotenen) automatischen Unterstützung die Voraussetzung für mögliche Effekte der Kooperationsform bzw. der teilautomatischen Prozessüberwachung und -führung darstellt, wird zunächst nach Nutzung, bzw. nach der Nutzungshäufigkeit der Automation durch die Operateure gefragt.

Neben dem Operator betreffen weitere Fragestellungen den Entwickler, welcher die Automation implementiert und die Kooperation zwischen Operator und Automation bereits antizipieren muss. Wie ausführlich in Kapitel 1.2 diskutiert, sind Entwickler mitverantwortlich für eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operator und Automation. Damit lassen sich drei zentrale Fragestellungen formulieren:

1. Nutzen Operateure die automatische Unterstützung (lässt sich die Kooperation zwischen Operator und Automation überhaupt beobachten)?

Kann gezeigt werden, dass Operateure von der automatischen Unterstützung tatsächlich Gebrauch machen, interessieren auch Fragen zu Häufigkeit und Art der Nutzung sowie Art der zugrunde liegenden Automatikfunktionen. Diese sind zum Beispiel:

- a. Von wie vielen Operateuren werden die Automatikfunktionen genutzt?
 - b. Wie viele Automatikfunktionen werden genutzt?
 - c. Wie häufig werden Automatikfunktionen genutzt?
 - d. Welche Automatikfunktionen werden genutzt?
2. Handelt es sich um eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operator und Automation?

Im Hinblick auf den Versuchskontext und die oben beschriebenen Ziele des Operators kann diese Frage wie folgt operationalisiert werden:

- a. Sind Operateure in der Kooperation mit der Automation in der Lage, die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung des komplexen, dynamischen Prozesses zu optimieren im Vergleich zu einer Bedingung, in welcher Operateure nicht mit einer Automation kooperieren können?
 - b. Sind Operateure in der Kooperation mit der Automation in der Lage, das Anstrengungsniveau der beiden Navigatoren zu optimieren im Vergleich zu einer Bedingung, in welcher Operateure nicht mit einer Automation kooperieren können?
 - c. Verändern sich leistungsrelevante Zustände der Operateure (Workload, Situationsbewusstsein) in der Kooperation mit der Automation im Vergleich zu derartigen Zuständen von Operateuren, die nicht mit einer Automation kooperieren können?
3. Wurde eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation bereits in der Entwicklungsphase unterstützt?

Diese Frage lässt sich zum einen über die zuvor genannten Fragen 2 a, b und c operationalisieren. Orientiert an der Idee des ATEO-Projekts kann und soll hier jedoch auch von dem Entwicklungsprozess selbst auf den Erfolg der Kooperation geschlossen werden.

Fragestellungen 1 und 2 werden im folgenden Abschnitt (Kapitel 6.2) begründet in Hypothesen überführt. Deren Überprüfung erfolgt mithilfe deskriptiver sowie multivariater statistischer Analysen (Kapitel 8). Fragestellung 3 wird nicht in Hypothesen überführt, sondern dient insbesondere zur vertiefenden Diskussion der Ergebnisse. Antworten auf diese Fragestellung werden indirekt mithilfe der deskriptiven und multivariaten statistischen Analysen zu Fragestellung 1 und 2 abgeleitet. Weiteren Aufschluss gibt die Diskussion des Entwicklungsprozesses der Automation (Kapitel 7.2.3), welche im letzten Kapitel (Kapitel 9) vorgenommen wird.

6.2 Hypothesen

Auf Basis der Fragestellungen 1 und 2 werden in diesem Abschnitt Hypothesen zur Nutzung der Automation sowie zum Zusammenhang der teilautomatischen Prozessführung mit Leistung und Zuständen des Operators sowie der Anstrengung der Navigatoren formuliert. Dass Operateure tatsächlich von der automatischen Unterstützung Gebrauch machen, ist Voraussetzung dafür, überhaupt mögliche globale Effekte einer teilautomatischen Prozessüberwachung und -führung auf die Leistung und Zustände des Operators sowie auf die Anstrengung der Navigatoren ausweisen zu können. Die Nutzung der automatischen Unterstützung durch die Operateure ist optional. Auf die Möglichkeit, eine automatische Unterstützung bei der Prozessüberwachung und -führung nutzen zu können, werden die Operateure im Training (Kapitel 7.6) wiederholt systematisch hingewiesen und auch im (praktischen) Umgang mit dieser geschult. Dabei werden Art und Umgang mit der automatischen Unterstützung zunächst theoretisch im Zuge der Einführung zu Funktionen des ATEO Master Display (Kapitel 7.2.2) erläutert. Anschließend absolvieren Operateure praktische Übungen zur Prozessüberwachung und -führung, in denen sie explizit aufgefordert werden, alle manuellen und automatischen Funktionen im Interface anzuwenden. So wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sich die Operateure bereits im Training mit der Automation vertraut machen und diese auch im Verlauf der eigentlichen Untersuchung nutzen. Es wird daher davon ausgegangen, dass die automatische Unterstützung (mindestens eine der entsprechenden Automatikfunktionen (Kapitel 7.2.2)) von mehr als der Hälfte der Operateure genutzt wird.

H 1.0 Die automatische Unterstützung (mindestens eine der verfügbaren Automatikfunktionen) wird von mehr als der Hälfte der Operateure genutzt

Lässt sich ausweisen, dass die Mehrzahl der Operateure die Automatikfunktionen nutzt, werden weitere Aspekte wie Anzahl genutzter Automatikfunktionen, Häufigkeit und Art der genutzten Automatikfunktionen sowie Art der Nutzung (Initiation von Automatikfunktionen) explorativ betrachtet. Mögliche globale Effekte der automatischen Unterstützung auf Kriterien wie Leistung und Zustand des Operators sowie Anstrengung der Navigatoren können dann gegebenenfalls auf solche Unterschiede in der Nutzung der automatischen Unterstützung zurückgeführt werden. Eine entsprechende Hypothese für derartige Zusammenhänge innerhalb der

teilautomatischen Bedingung wird daher im Anschluss an die Hypothesen zu möglichen globalen Effekte der automatischen Unterstützung formuliert.

Ziele der Automatisierung sind grundsätzlich in einer Optimierung der Effizienz und Effektivität des Mensch-Maschine-Systems (aber auch der Zufriedenheit des Operators) zu sehen (Kapitel 1.1). Jede Form der Kooperation zwischen Operator und Automation sollte somit grundsätzlich eine Optimierung der Leistung bewirken. Dass dem nicht immer so ist bzw. die Zusammenarbeit von Operateuren mit der Automation auch Risiken mit sich bringt, wurde in Kapitel 1.1 bereits ausführlich diskutiert. Je komplexer die Form der Zusammenarbeit (beispielsweise durch flexible, hochautomatische Funktionen), desto schwieriger ist die generelle Vorhersage ihrer Wirkung auf die Prozessüberwachungs- und führungsleistung von Operateuren und desto höher ist die Wahrscheinlichkeit inkonsistenter Ergebnisse hinsichtlich der Wirkung von unterschiedlichen Automationsstufen, von Automationsgraden und -konzepten (Kapitel 5.5.3). Im Zuge des verfolgten iterativen Vorgehens zur Überprüfung unterschiedlicher Kooperationsformen wird in dieser Studie zunächst der einfachste Fall einer Zusammenarbeit zwischen Operator und Automation untersucht. Ausgehend von einer Bedingung, in welcher Operateure eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung von Operateuren absolvierten (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht), wird Operateuren in einer teilautomatischen Bedingung optional eine (nicht-flexible) automatische Unterstützung zur Verfügung gestellt. Diese kann die Kontrolle für spezifische Funktionen (unterschiedliche Hinweise) vollständig übernehmen, wenn und solange der Operator sie aktiviert. Bei der hier zugrunde liegenden passiv-alternierenden Kooperationsform (Kapitel 5.5.2) hat zu jedem Zeitpunkt der Operator die Autorität, das heißt, er allein ist für das Wechseln des LOA zuständig. Wie bereits in Kapitel 5.5.3 angeführt, geht die Autorität des Operators mit dem Erhalt seines Situationsbewusstseins einher (z. B. Kaber & Endsley, 2004). Sein Bewusstsein für Veränderungen ist höher, wenn er selbst (anstelle eines anderen Operators oder der Automation) diese Veränderungen beeinflusst (Miller, Funk, Goldman et al., 2005). Scerbo (2006) geht in diesem Zusammenhang auch davon aus, dass die Autorität des Operators ihm ein verbessertes Ressourcenmanagement ermöglicht. Der Operator kann seine Ressourcen für die Zielerreichung (Optimierung von Geschwindigkeit und Genauigkeit) dann möglicherweise besser einsetzen. Die Autorität des Operators sollte sich somit vermittelt über das Situationsbewusstsein bzw. ein verbessertes Ressourcen-Management förderlich auf die Leistung auswirken.

Tatsächlich zeigen Studien jedoch, dass die Autorität des Operators je nach Setting bzw. Kontext auch negative Konsequenzen für die Leistung haben kann (Kapitel 5.5.1). Hier hat auch die Flexibilität der Automation zusätzlich zur Autoritätsfrage einen Einfluss (Kapitel 5.5.3). Danach ermöglichen statische Automationskonzepte einerseits weniger Freiheitsgrade hinsichtlich der Anpassung der Automation an dynamische Kontextbedingungen. Andererseits wird das Auftreten neuer Probleme bzw. neuer Interaktionsmuster (Dekker & Woods, 2002), die eine Flexibilität der Automation im Sinne einer gegenseitigen Anpassung von Operator und Automation erst mit sich bringt (Kapitel 1.2), bei statischen Automationskonzepten verhindert. Es zeigt sich auch empirisch, dass statische Automationskonzepte unter bestimmten Bedingungen oftmals flexiblen Automationskonzepten in Bezug auf die Förderung der Leistung oder der leistungsrelevanten Kriterien überlegen sind (Abbink et al., 2012; Miller & Parasuraman, 2007; Sauer et al., 2013).

Für die Vorhersage des Effekts der hier interessierenden Kooperationsform zwischen Operator und Automation können im Sinne der Idee des ATEO-Projekts zudem nicht nur Informationen anderer empirischer Studien, sondern auch Informationen aus dem Entwicklungsprozess verwendet werden (Kapitel 3.1). Im Zuge dieses Prozesses wurden alle zur Verfügung gestellten Automatikfunktionen mit dem Ziel entwickelt, im Falle ihrer Aktivierung die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung des Operators zu optimieren (Kapitel 4 und 7.2.3). Für den hier untersuchten Fall der passiv-alternierenden Kooperation zwischen Operator und Automation wird daher insgesamt von einem förderlichen Effekt auf die Leistung ausgegangen. Operateure in der teilautomatischen (im Vergleich zu Operateuren in einer manuellen) Bedingung sollten daher sowohl Zeit als auch Fehler des Trackings der Navigatoren optimieren können.

H 2.0a Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von

Operateuren geht mit einer verkürzten Zeit des Trackings einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.

H 2.0b Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von

Operateuren geht mit weniger Fehlern des Trackings einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.

Im Zuge der Optimierung von Geschwindigkeit und Genauigkeit (gemessen über Zeit und Fehler) des Trackings interessiert auch, ob der Operateur zugleich in der Lage ist, die Anstrengung der beiden Navigatoren zu optimieren. Die Navigatoren werden als simulierte technische Bestandteile der Mikrowelt betrachtet (Kapitel 3.3), wobei zugleich deren soziale Interaktion (und unterschiedliche Tracking-Instruktion) dafür genutzt wird, die Komplexität des Trackingprozesses zu erhöhen. Entsprechend ist auch ihr Zustand für die Trackingleistung relevant. Ebenso wie technischer Verschleiß sich negativ auf die Leistung technischer Systeme auswirkt, kann auch die Anstrengung als beeinflussendes Maß für die Trackingleistung betrachtet werden. Die Frage ist, ob der Operateur in Kooperation mit der Automation in der Lage ist, die Anstrengung der beiden Navigatoren zu erkennen und zu reduzieren. Dabei muss eine Optimierung der Anstrengung nicht notwendigerweise in der Minimierung der Anstrengung zu sehen sein. Sowohl eine zu geringe als auch eine zu hohe Anstrengung kann sich im Sinne einer Über- oder Unterforderung leistungsbeeinträchtigend auswirken. Ein absoluter Richtwert der optimalen Anstrengung lässt sich jedoch im Vorhinein nicht festlegen. Ein Idealfall wäre in einer reduzierten Anstrengung bei gleichzeitiger Leistungssteigerung zu sehen. Operateure haben die Aufgabe, im Zuge der Prozessüberwachung und -führung die kooperative Trackingleistung (Zeit und Fehler) der Navigatoren zu optimieren. Im Vergleich zu einer rein manuellen Bewältigung dieser Aufgabe sollte die (optionale) Kooperation mit der Automation die Operateure dabei unterstützen, die Anstrengung der Navigatoren zu verringern. In anderen Worten: Die Kooperation von Operateuren mit der Automation sollte eine Optimierung von Leistungsmaßen (Zeit und Fehler) bei einer zugleich reduzierten Anstrengung der Navigatoren ermöglichen.

H 3.0 Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von

Operateuren geht mit einer verringerten Anstrengung der Navigatoren einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.

Neben dem Zustand der Navigatoren ist der Zustand des Operateurs selbst von großem Interesse. Der Vorteil bei der Implementierung vor allem flexibler Automationskonzepte wird von diversen Autoren insbesondere darin gesehen, den Workload von Operateuren zu reduzieren (Wickens & Hollands, 2000) bzw. zu regulieren (Kaber & Endsley, 2004; Moray et al., 2000; Prinzel et al., 2000).

Tatsächlich ist dies jedoch nicht immer der Fall (Metzger & Parasuraman, 2005). Es lassen sich auch gegenteilige Effekte im Sinne eines unbalancierten Workloads finden (Miller, Funk, Goldman et al., 2005; Miller, Funk, Wu et al., 2005; Parasuraman & Riley, 1997).

Bei der hier vorliegenden passiv-alternierenden Kooperation zwischen (autoritativem) Operateur und (nicht-flexibler) Automation könnte einerseits von einer Verringerung des Workloads des Operators ausgegangen werden. Die Automation ist, als optionale Unterstützung, auf die Optimierung der Leistung des Operators angelegt (Kapitel 4). Die Delegation der vollständigen Kontrolle bestimmter Funktionen an die Automation könnte den Operateur insofern entlasten. Dass er selbst über diese Delegation entscheiden kann, ermöglicht ihm zudem ein verbessertes Ressourcen-Management (Scerbo, 2006) und somit möglicherweise ein verbessertes Management seines eigenen Workloads.

Andererseits kann gerade die Autorität des Operators zu erhöhtem Workload führen. So ist es fraglich, ob und wie gut Operateure in der Lage sind, ihren eigenen Workload zu überwachen und durch Delegation der Kontrolle an eine Automation zu regulieren. Wenn zudem die Delegation selbst, das heißt das Aktivieren und Deaktivieren der Automation in Echtzeit, einen zu großen zusätzlichen physischen Aufwand durch ausufernde Dateneingabe oder Reprogrammierung (Wiener, 1988) erfordert, oder die Entscheidung der Delegation einen zu hohen kognitiven Aufwand (Kirlik, 1993) mit sich bringt, wird der Workload gerade nicht reduziert. Darüber hinaus kann sich auch die Überwachung der Automation selbst negativ im Sinne einer Workload-Erhöhung auswirken (Warm, Dember & Hancock, 1996). Dadurch würde der eigentlich angestrebte förderliche Effekt der Zusammenarbeit mit der Automation auf den Workload des Operators wieder relativiert werden (Miller, Funk, Goldman et al., 2005). Die Delegation von Kontrolle an die Automation ist im ATEO Lab System allerdings nicht mit hohem Aufwand verbunden: das Aktivieren und Deaktivieren der automatischen Hinweise erfolgt in derselben Art und Weise (Mausclicks) wie das Betätigen von manuellen Hinweisen. Auch die Überwachung der Aktivität der Automation wird durch ein entsprechendes Feedback erleichtert. Zum einen erhält der Operateur nach Einschalten der Automation eine kontinuierliche visuelle Rückmeldung zur Aktivität der Automation, zum anderen erhält er situationsabhängige visuelle Rückmeldungen, wenn die Automation einen entsprechenden Hinweis ausgelöst hat (Kapitel 7.2.3). Wie bereits in Bezug auf die Anstrengung der Navigatoren diskutiert

(Hypothese 3.0), liegt ein optimaler Workload des Operators genau zwischen den (leistungsbeeinträchtigenden) Extremen eines zu hohen oder zu geringen Workloads (Miller, Funk, Goldman et al., 2005). Die maximale Reduktion des Workloads, welche Wickens und Hollands (2000) zur Bewertung einer Zusammenarbeit von Operator und Automation anstreben, ist somit nicht gewünscht. In jedem Fall ist aber grundsätzlich eine Reduktion des Workloads bei gleichzeitiger Leistungsoptimierung erstrebenswert. Insbesondere im Vergleich zu einer manuellen Prozessüberwachung und -führung, bei der prinzipiell von einem erhöhten Workload des Operators ausgegangen werden kann, wird angenommen, dass die Zusammenarbeit mit der Automation bzw. die Delegation von Kontrolle an die Automation den Workload des Operators verringert.

H 4.0 Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von Operateuren geht mit einem verringerten Workload der Operateure einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.

Ebenso wird untersucht, ob und in welcher Weise die teilautomatische Prozessüberwachung und -führung mit dem Situationsbewusstsein des Operators zusammenhängt. Wie bereits in Kapitel 5.5.3 und im Zuge der Hypothesen zur Leistung des Operators (H 2.0 und 2.1) erwähnt, kann die Autorität des Operators in Bezug auf die Vergabe und Veränderung von Kontrolle für den Erhalt seines Situationsbewusstseins sorgen (Endsley & Kaber, 1999). Dennoch hängt das Situationsbewusstsein auch von anderen Faktoren, insbesondere von der Flexibilität der Automation, ab: Statische Automationskonzepte laufen Gefahr, durch fehlende Interaktionsmöglichkeiten des Operators mit der Automation zu einer Beeinträchtigung des Situationsbewusstseins zu führen (Kaber et al., 2006). Gerade wenn es sich um hoch- bzw. vollautomatische Automation handelt, bei welcher der Operator selbst nur noch wenig oder keine Kontrolle hat (Endsley & Jones, 1995; Kaber & Endsley, 2004). Da es sich bei der hier untersuchten Form der Kooperation um statische Automationsfunktionen handelt, könnte dies im Vergleich zu der rein manuellen Prozessüberwachung und -führung somit Einbußen für das Situationsbewusstsein des Operators bedeuten. Andererseits erfolgt die Prozessüberwachung und -führung selbst nur in Teilen (und zudem optional) automatisch. Die automatische Unterstützung bezieht sich (nur) auf ausgewählte Hinweisfunktionen (Kapitel 7.2.3). Andere Funktionen sind weiterhin manuell zu

kontrollieren. Hinzu kommt, dass Einbußen des Situationsbewusstseins oft mit fehlenden Informationen bzw. fehlendem Feedback zur Funktionsweise der Automation einhergehen. Wie bei der Begründung von Hypothese H 4.0 bereits beschrieben, wird in Studien mit dem ATEO Lab System dafür gesorgt, dass der Operateur jederzeit (visuelle) Rückmeldungen zur Aktivität der Automation erhält. Das Feedback zur Funktionsweise der Automation wirkt sich vermittelt über das verbesserte Ausbilden eines mentalen Modells positiv auf das Situationsbewusstsein von Operateuren aus (Endsley & Garland, 2000). Daher kann angenommen werden, dass die Kooperation von Operateur und Automation das Situationsbewusstsein des Operateurs im Vergleich zu einer rein manuellen Prozessüberwachung und -führung erhöht.

H 5.0 Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von Operateuren geht mit einem erhöhten Situationsbewusstsein der Operateure einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.

Lassen sich Operateure innerhalb der teilautomatischen Bedingung nach ihrem Nutzungsverhalten bezüglich der Automatikfunktionen unterscheiden, besteht zudem die Annahme, dass dieses im Zusammenhang mit den zentralen Kriterien (Zeit, Fehler, Anstrengung der Navigatoren sowie Workload und Situationsbewusstsein des Operateurs) steht. Zur Überprüfung von Zusammenhängen innerhalb der teilautomatischen Bedingung werden daher folgende Hypothesen explorativ formuliert:

Das Nutzungsverhalten der Operateure in Bezug auf die Automatikfunktionen weist einen Zusammenhang auf mit

H 6.0 der Zeit des Trackings

H 6.1 den Fehlern des Trackings

H 6.2 der Anstrengung der Navigatoren

H 6.3 dem Workload der Operateure sowie mit

H 6.4 dem Situationsbewusstsein der Operateure.

In Abbildung 7 werden zur Übersicht alle Hypothesen nochmals aufgelistet. In Kapitel 7 werden sodann das methodische Vorgehen und in Kapitel 8 die Ergebnisse der statistischen Überprüfung der Hypothesen beschrieben.

Hypothesen zur Nutzung der Automation	
H 1.0	Die automatische Unterstützung (mindestens eine der verfügbaren Automatikfunktionen) wird von mehr als der Hälfte der Operateure genutzt.
Hypothesen zur Leistung der Operateure	
H 2.0a	Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von Operateuren geht mit einer verkürzten Zeit des Trackings einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.
H 2.0b	Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von Operateuren geht mit weniger Fehlern des Trackings einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.
Hypothesen zur Anstrengung der Navigatoren	
H 3.0	Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von Operateuren geht mit einer verringerten Anstrengung der Navigatoren einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.
Hypothesen zu leistungsrelevanten Zuständen der Operateure	
H 4.0	Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von Operateuren geht mit einem verringerten Workload der Operateure einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.
H 5.0	Die automatisch unterstützte Prozessüberwachung und -führung von Operateuren geht mit einem erhöhten Situationsbewusstsein der Operateure einher im Vergleich zu Operateuren, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren.
Hypothesen zu Zusammenhängen zwischen Art der Nutzung der automatischen Unterstützung und Leistung, Anstrengung der Navigatoren sowie leistungsrelevanten Zuständen der Operateure	
	Das Nutzungsverhalten der Operateure in Bezug auf die Automatikfunktionen weist einen Zusammenhang auf mit ...
H 6.0	... der Zeit des Trackings
H 6.1	... den Fehlern des Trackings
H 6.2	... der Anstrengung der Navigatoren
H 6.3	... dem Workload der Operateure
H 6.4	... dem Situationsbewusstsein der Operateure.

Abbildung 7. Liste der Hypothesen.

7. Methodik

Dieses Kapitel widmet sich der Versuchsbeschreibung zur Ermittlung möglicher Effekte automatischer Unterstützung auf die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren. Dabei wird zunächst auf die Zusammensetzung und die Gewinnung der Stichprobe eingegangen (Kapitel 7.1). Anschließend wird die zentrale Simulationsumgebung, das ATEO Lab System, unter Berücksichtigung seiner Komponenten (Socially Augmented Microworld und ATEO Master Display) und seiner technischen Erweiterung im Detail beschrieben (Kapitel 7.2). Nach der Erläuterung des Versuchsdesigns (Kapitel 7.3) wird auf die Operationalisierung aller für den Versuch relevanten Variablen eingegangen. Dabei wird zunächst die Operationalisierung von Variablen der globalen Analyse (Kapitel 7.4) und anschließend von Variablen innerhalb der teilautomatischen Bedingung (Kapitel 7.5) dargestellt. Im letzten Teil dieses Kapitels (Kapitel 7.6) wird der Versuchsablauf geschildert.

7.1 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt nahmen $N = 81$ Operateure an der Studie teil. Da jeder Operateur mit einem Team aus zwei (stets neuen) Navigatoren interagiert, betrug die Anzahl an Navigatoren entsprechend $N = 162$. Von diesen 81 Teams aus Operateur und zwei Navigatoren entfallen 40 Teams auf die Bedingung der manuellen Prozessüberwachung und -führung. Diese 40 Teams wurden bereits in Form zweier Rekrutierungsdurchläufe im Rahmen der vorherigen, zweiten ATEO-Projektphase erhoben: Zunächst wurden $N = 26$ Teams für eine Studie zur Evaluation der aktuellen Variante des ATEO Master Displays (Kapitel 7.2.2) rekrutiert (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht; Nachtwei, 2011b). Im zweiten Schritt wurden nochmals $N = 14$ Teams für eine Studie mit derselben Variante des ATEO Master Displays und demselben Versuchsdesign rekrutiert, mit dem Ziel, zusätzlich Eye-Tracking-Daten zu erheben (Stade, von Bernstorff & Nachtwei, 2013).

Von den insgesamt 81 Operateuren waren 45 (56%) Frauen und 36 (44%) Männer. Innerhalb der jeweiligen Versuchsbedingung wurde ebenfalls jeweils eine Gleichverteilung des Geschlechts angestrebt: Von den 40 Operateuren in der manuellen Bedingung waren 24 Frauen (60%) und 16 Männer (40%), von den 41 Operateuren in

der teilautomatischen Bedingung waren 21 (51%) Frauen und 20 (49%) Männer vertreten. Auch innerhalb jedes Teams aus Operateur und Navigatoren wurde das Geschlecht konstant gehalten, um Geschlechtereffekte zu vermeiden. Somit ergibt sich für die Navigatoren dieselbe Geschlechterverteilung wie bei den Operateuren: Von den 80 Navigatoren in der manuellen Bedingung waren 48 (60%) Frauen und 32 (40%) Männer, von den 82 Navigatoren in der teilautomatischen Bedingung waren 42 (51%) Frauen und 40 (49%) Männer. Das Alter aller Probanden wurde kontrolliert und lag zwischen 18 und 35 Jahren.

Alle Teilnehmer wurden mithilfe einer seit dem Jahr 2007 bestehenden web-basierten Datenbank *PESA* der Humboldt-Universität zu Berlin gewonnen. Aktuell etwa 7.800 Teilnehmer unterschiedlicher Altersklassen, Bildungsniveaus und fachlicher Ausrichtung sind in dieser Datenbank registriert. Die freiwilligen demographischen Angaben der Teilnehmer erlauben eine sorgfältige Kontrolle derselben. In dieser Studie wurden neben Alter und Geschlecht auch Variablen wie Deutschsprachigkeit (fließend) und Schulabschluss (Realschulreife) kontrolliert. Weiterhin wurden Teilnehmer ausgeschlossen, die linkshändig waren, vormalig in psychologischer/psychiatrischer Behandlung waren, unter einer Rot-Grün-Blindschwäche leiden oder bereits an früheren Experimenten im ATEO-Projekt teilgenommen hatten. Operateure erhielten je eine Aufwandsentschädigung von 30 EURO (für eine Versuchsdauer von 3 bis 3,5 Stunden) und Navigatoren jeweils 20 EURO (für eine Versuchsdauer von 2 bis 2,5 Stunden).

7.2 Die Simulationsumgebung

Die Studie wurde mithilfe des ATEO Lab Systems (Abbildung 8) durchgeführt. Mit dieser vernetzten Simulationsumgebung wird die Überwachung und Führung eines komplexen, dynamischen Prozesses simuliert. Das ATEO Lab System besteht somit aus zwei Komponenten: (1) Dem komplexen, dynamischen Prozess, welcher mithilfe einer eigens entwickelten Mikrowelt (SAM) bzw. durch das kooperative Tracking zweier Versuchspersonen simuliert wird. Die zugrunde liegende Idee der SAM wurde bereits in Kapitel 3.3 beschrieben. (2) Dem Arbeitsplatz einer dritten Versuchsperson in der Rolle des Operateurs, welcher die Aufgabe hat, die Leistung der beiden anderen Versuchspersonen zu optimieren. Der Arbeitsplatz wird repräsentiert durch das ATEO Master Display. Dieses Interface erlaubt Probanden in der Rolle von Operateuren,

SAM-relevante Informationen abzurufen und über das Betätigen (Anklicken) von Hinweisen und Eingriffen Einfluss auf den Prozess zu nehmen.

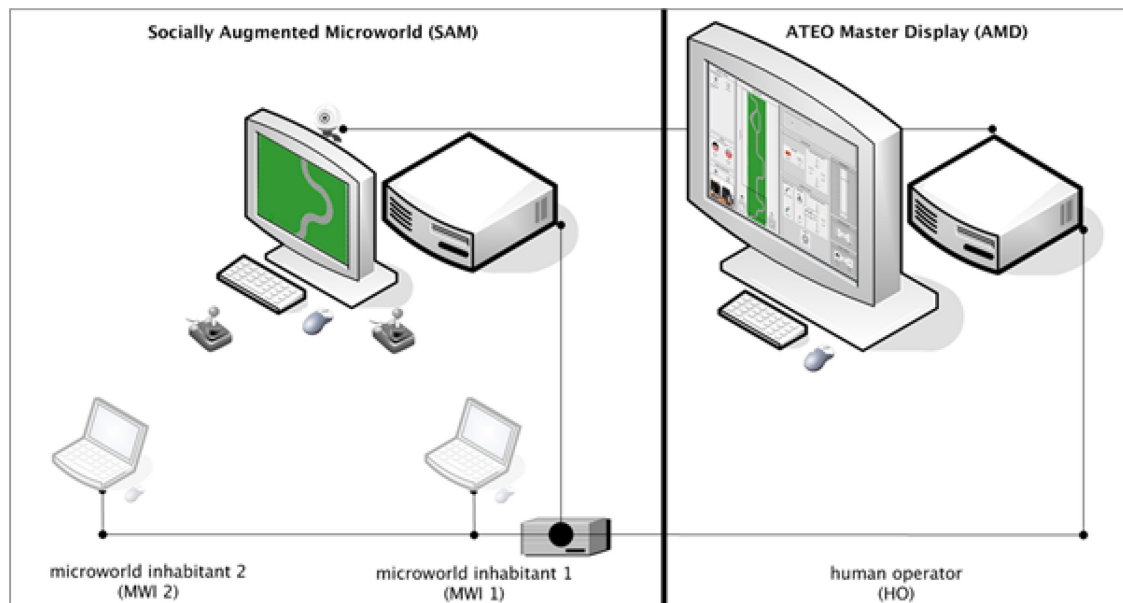


Abbildung 8. Aufbau des ATEO Lab Systems. Das ALS besteht aus zwei vernetzten Komponenten. Linke Seite: In der SAM führen zwei Probanden, sogenannte Navigatoren, unter Videoaufnahme eine kooperative Trackingaufgabe mithilfe von Joysticks aus und schätzen dabei jeweils ihre Anstrengung mithilfe von auf Laptops dargebotenen Skalen ein. Rechte Seite: Bewegungen des Fahrobjekts, Joystick-Auslenkung, Anstrengungswerte sowie ein Echtzeitvideo der beiden Navigatoren werden einer dritten Versuchsperson, dem Operateur, in einem separaten Raum über das ATEO Master Display zurückgemeldet. Der Operateur hat die Aufgabe, diese Informationen sowie Hinweise und Eingriffe zu verwenden, um den kooperativen Trackingprozess zu optimieren.

Je nach Konfiguration des ATEO Lab Systems kann eine von zwei unterschiedlichen Varianten des Interfaces bzw. des ATEO Master Displays gewählt und so die Art der Prozessführung durch Operateure variiert werden. Operateure, welche die *manuelle* Variante des ATEO Master Displays nutzen, müssen alle Hinweise selbst bzw. manuell tätigen. Operateure, welche die *teilautomatische* Variante nutzen, können wahlweise Automatikfunktionen aktivieren, die an ihrer Stelle Hinweise tätigen. Die Art der Prozessführung, manuell und teilautomatisch, repräsentiert zugleich die experimentelle Bedingungsvariation in der vorliegenden empirischen Studie (Kapitel 7.3). Die Entwicklung des ATEO Lab Systems zur manuellen Prozessführung durch Operateure erstreckte sich über drei Jahre. Dabei wurde die manuelle Variante des ATEO Master Displays basierend auf Literatur und Designrichtlinien entwickelt und getestet. Eigens im Hinblick auf das Ziel der Arbeit, Formen der kooperativen Automation iterativ im Labor zu testen, wurde das ATEO Lab System bzw. das ATEO

Master Display über weitere zwei Jahre so erweitert, dass Operateuren die Nutzung von automatischen Funktionen ermöglicht wurde. Die Idee des ATEO-Projekts ist es, die Leistung von Entwicklern stärker in den Vordergrund zu rücken, um diese mit der Leistung von Operateuren in Bezug setzen zu können. Entsprechend wurde die Weiterentwicklung des ATEO Lab Systems systematisch begleitet und in einem eigenen Kapitel (Kapitel 7.2.3) ausführlich beschrieben. Die empirischen Ergebnisse zur Leistung von Operateuren in der Kooperation mit den nun integrierten Automatikfunktionen (Kapitel 8) können auch auf Rahmenbedingungen eben dieses Entwicklungsprozesses zurückgeführt werden. In den folgenden Abschnitten wird zunächst der Aufbau des ATEO Lab Systems anhand seiner beiden Komponenten, der SAM (Kapitel 7.2.1) sowie dem ATEO Master Display (Kapitel 7.2.2), erläutert.

7.2.1 Die Socially Augmented Microworld (SAM) – Aufgabe der Navigatoren

Die zentrale Komponente des ATEO Lab Systems stellt die im ATEO-Projekt eigens entwickelte Socially Augmented Microworld (SAM; Abbildung 9a) dar. Hintergrund und Idee der SAM sind ausführlich bei Nachtwei (2011b) sowie im Kapitel 3.3 dieser Arbeit beschrieben.

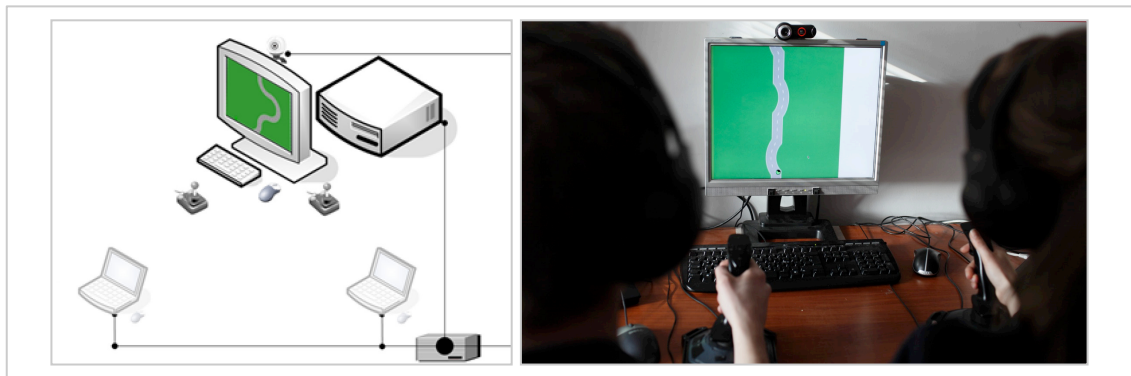


Abbildung 9a. Die Socially Augmented Microworld (SAM). Die Abbildung zeigt den Aufbau der SAM schematisch (links) und in der Realität (rechts). Zwei Probanden führen eine kooperative Trackingaufgabe mithilfe von Joysticks aus.

Als Bestandteile der Mikrowelt (Wandke & Nachtwei, 2008) absolvieren zwei reale Probanden, sogenannte Navigatoren, mithilfe von Joysticks eine kooperative Trackingaufgabe. Beide Navigatoren nutzen dafür jeweils einen Joystick mit einem vertikalen und horizontalen Steueranteil von 50%, um somit gemeinsam und zeitgleich ein Fahrobjekt möglichst schnell und genau entlang virtueller Strecken zu steuern. Die

Strecke, auf dem gemeinsam genutzten Monitor vor ihnen präsentiert, nimmt dabei über insgesamt 11 Durchläufe bzw. Fahrten an Komplexität, im Sinne von mehr Kurvenanteilen, höherem Aufkommen an Hindernissen und Gabelungen sowie längerer Streckendauer, zu (Kapitel 7.6).

Die Instruktion an beide Navigatoren betrifft vier wesentliche Aspekte: (1) Zielstellung des Trackings: Die Navigatoren gehen jeweils davon aus, identisch instruiert worden zu sein, tatsächlich erhalten sie jedoch, verdeckt, gegensätzliche Zielstellungen. Navigator 1 soll möglichst schnell, dabei genau fahren; Navigator 2 soll das Objekt möglichst genau, dabei schnell steuern. (2) Kommunikationsregeln: Während des gesamten Versuchs dürfen die Navigatoren weder verbal noch nonverbal miteinander kommunizieren; die Kooperation erfolgt also ausschließlich durch implizite, gegenseitige Anpassung des (geteilten) Steuerungsverhaltens. (3) Anstrengungsmessung: Nach jeder Fahrt sollen beide Navigatoren jeweils auf einer PC-basierten Skala (adaptierte Form der Rating Scale Mental Effort (RSE_A; Zijlstra und van Doorn, 1985)) ihre Anstrengung nach der gerade absolvierten Fahrt einschätzen. (4) Unterstützung des Trackings durch eine „Software“: Beiden Navigatoren wird die Unterstützung bzw. Optimierung ihres gemeinsamen Trackingprozesses (in Fahrten 8 bis 11) bereits angekündigt. Dabei wird jedoch auf die Unterstützung durch eine Software verwiesen. Dass es sich bei der Unterstützung um eine menschliche Person (in Zusammenarbeit mit einer Automation) handelt, erfahren die Navigatoren nicht. Um die Fähigkeiten dieser Software zu beschreiben, erhalten die Navigatoren eine Liste der Hinweise und Eingriffe im Interface, welche der Operateur tatsächlich nutzen kann. Mithilfe dieser Instruktion werden mögliche Interaktionseffekte zwischen Navigatoren und Operateur (z. B. Auswirkungen auf Compliance der Navigatoren) verhindert. Zudem ist so die Vergleichbarkeit dieser Studie zu einer Parallelstudie gegeben, in welcher die Effekte einer (tatsächlichen) vollautomatischen Unterstützung auf die Leistung der Navigatoren überprüft werden (Niestroj, eingereicht).

Zeit und Position des Fahrobjekts sowie Joystick-Bewegungen werden anhand von Logfiles mit einer Auflösung von 39 Millisekunden gemessen. Diverse weitere SAM-bezogene Daten (zum Beispiel Demographie, Persönlichkeitsmerkmale, Interessen oder Sympathieeinschätzungen der Navigatoren) werden zudem mithilfe von Fragebögen erhoben. Details zur Operationalisierung der für die empirische Studie wesentlichen Prädiktoren und Kriterien findet sich in den Kapiteln 7.4 und 7.5. Nach

der hier beschriebenen Aufgabe der Navigatoren widmet sich das nächste Kapitel zunächst der Aufgabe der Operateure im ATEO Lab System.

7.2.2 Das ATEO Master Display – Aufgabe des Operateurs

Das zweite Subsystem ist der mit SAM vernetzte Arbeitsplatz eines Operateurs bzw. einer Operateurin (in dieser Arbeit wird geschlechterübergreifend der Begriff Operateur genutzt). Eine dritte – für den Versuch zentrale – Versuchsperson erhält die Aufgabe, mithilfe eines Interfaces, dem ATEO Master Display (Abbildung 9b), das kooperative Tracking der beiden Navigatoren zu überwachen und zu optimieren.

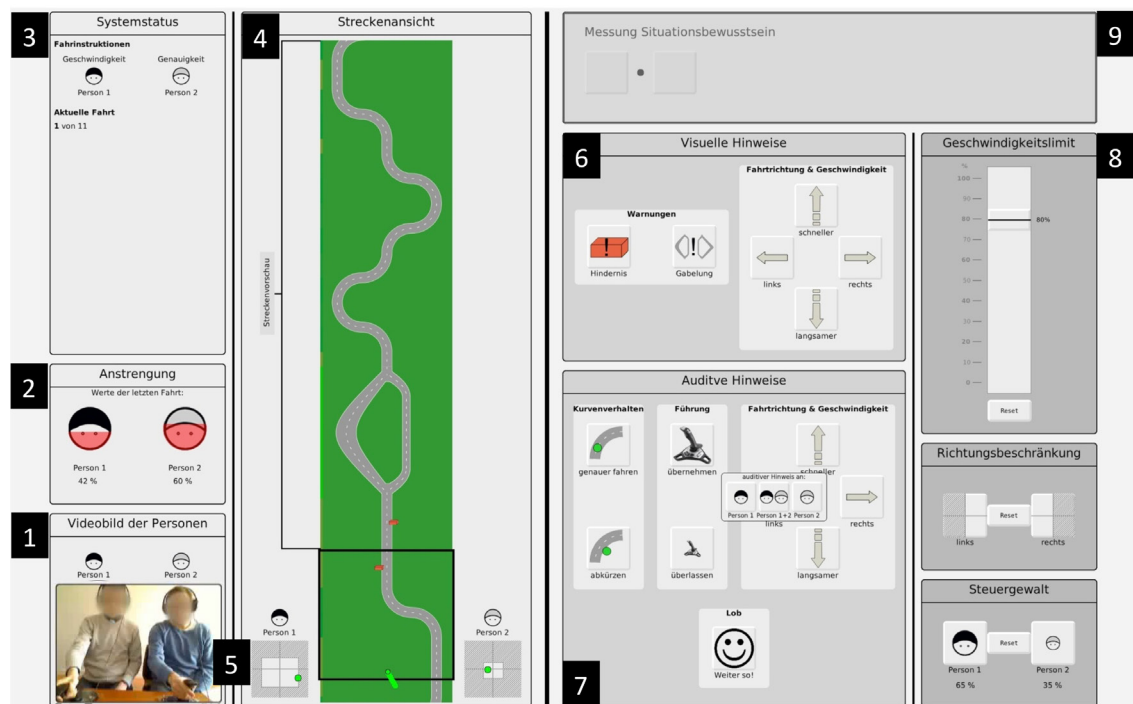


Abbildung 9b. Das ATEO Master Display (in Anlehnung an Stade, Meyer, Niestroj und Nachtwei (2011a)) zur Überwachung und -führung des kooperativen Trackings durch einen Operateur. Der Outputbereich (linke Bildhälfte) bietet aktuelle Informationen zum kooperativen Trackingprozess der Navigatoren; der Inputbereich (rechte Bildhälfte) bietet (visuelle und auditive) Hinweis- und Eingriffsmöglichkeiten, um den Trackingprozess zu optimieren.

Aufgrund der technischen Vernetzung des ATEO Master Displays mit der SAM (Kapitel 7.2.1) können dem Operateur über das ATEO Master Display zum einen die SAM-relevanten Informationen (wie Bewegungen des kooperativ gesteuerten Fahrobjekts, Joystick-Auslenkung, Anstrengung der Navigatoren und Videobild) in Echtzeit dargeboten werden. Zum anderen kann der Operateur ebenso in Echtzeit aktiv

verschiedene Hinweis- und Eingriffsfunktionen nutzen, um den Trackingprozess der beiden Navigatoren zu beeinflussen. Das Betätigen der Hinweis- und Eingriffsfunktionen erfolgt mithilfe von Mouse-Klicks des Operators auf entsprechend bereitgestellte Schaltflächen im ATEO Master Display.

Im Output-Bereich (Abbildung 9b links) kann der Operator zunächst über ein Echtzeitvideo **1** *Kopf- und Körperbewegungen* sowie *Gestiken und Handbewegungen* beider Navigatoren interpretieren. Über dem Video wird passend zur Sitzposition von Navigator 1 und 2 deren jeweilig angegebene *Anstrengung* **2** visualisiert. Die Anstrengungswerte beider Navigatoren (Kapitel 7.2.1) werden dabei verrechnet in Prozentwerte, die quantifiziert und zusätzlich als ansteigende Gesichtsfärbung visualisiert sind. Darüber befinden sich Informationen zum Systemstatus **3**, in welchem die *aktuelle Fahrt* (und damit der Versuchsfortschritt) sowie die jeweilige *Fahrinstruktion* an die Navigatoren (Fokus auf Geschwindigkeit vs. Genauigkeit) abgelesen werden können. Das Hauptareal des Outputbereichs stellt eine Streckenansicht **4** dar, die sich in aktuelle Streckenansicht (innerhalb der schwarzen Umrandung) und eine Streckenvorschau teilt. Die aktuelle Streckenansicht repräsentiert genau den Bildausschnitt, der auch den beiden Navigatoren zur Verfügung steht. Die *Streckenvorschau* ermöglicht es dem Operator, die Beschaffenheit der Strecke schon vor den Navigatoren zu überprüfen und diese mithilfe von Hinweisen und Eingriffen vorzeitig auf Gefahrensituationen (zum Beispiel Gabelungen oder Hindernisse) aufmerksam zu machen. Links und rechts von der Streckenansicht wird die jeweilige Joystickausrückung (kleines, rundes Objekt) im Verhältnis zu aktuellen Freiheitsgraden (helle, quadratische Fläche) **5** jeweils für Navigator 1 und 2 abgebildet.

Der Input-Bereich (Abbildung 9b rechts) lässt sich in drei Abschnitte teilen: Visuelle und auditive Hinweise, Eingriffe und die Messung des Situationsbewusstseins. Im Bereich der visuellen Hinweise **6** kann der Operator *Warnungen vor einem Hindernis* (Pfeilsymbol „Hindernis“) oder einer *Gabelung* (Pfeilsymbol „Gabelung“) sowie *Geschwindigkeitshinweise* (Pfeilsymbol „Schneller fahren“ vs. „Langsamer fahren“) und *Richtungshinweise* (Pfeilsymbol „Links fahren“ vs. „Rechts fahren“) auslösen. Die jeweilige Schaltfläche wird durch den Operator per Mausklick aktiviert. Das entsprechende Hinweissymbol erscheint dann links und rechts auf dem gemeinsam genutzten Bildschirm der Navigatoren. Visuelle Hinweise werden somit grundsätzlich an beide Navigatoren zugleich übermittelt.

Im Bereich der auditiven Hinweise **7** kann der Operateur Hinweise zum *Kurvenverhalten* („Kurven genauer fahren“ vs. „Kurven abkürzen“), zur *Führungsübernahme* („Führung übernehmen“ vs. „Führung überlassen“) sowie ebenfalls *Geschwindigkeitshinweise* („Schneller fahren“ vs. „Langsamer fahren“) und *Richtungshinweise* („Links fahren“ vs. „Rechts fahren“) auslösen. Darüber hinaus kann er die Navigatoren auch *loben* („Weiter so“). Die jeweilige Schaltfläche wird durch den Operateur per Mausklick aktiviert. Der entsprechende auditive Hinweis wird den Navigatoren via standardisierter Audiodatei über Kopfhörer zurückgemeldet. Im Gegensatz zu den visuellen Hinweisen muss der Operateur nach Betätigung einer auditiven Hinweisschaltfläche zunächst entscheiden, an wen der auditive Hinweis gegeben werden soll (Navigator 1, 2 oder beide). Dieser Zwischenschritt ist in der Abbildung 10 aktuell für den auditiven Hinweis „Links fahren“ dargestellt. Sobald der Operateur einen visuellen oder auditiven Hinweis auslöst, erhält er ein promptes Feedback, indem das entsprechende Hinweissymbol zeitlich parallel zur Vermittlung an die Navigatoren, oberhalb der Joystick-Auslenkung links und/oder rechts neben der Streckenansicht erscheint.

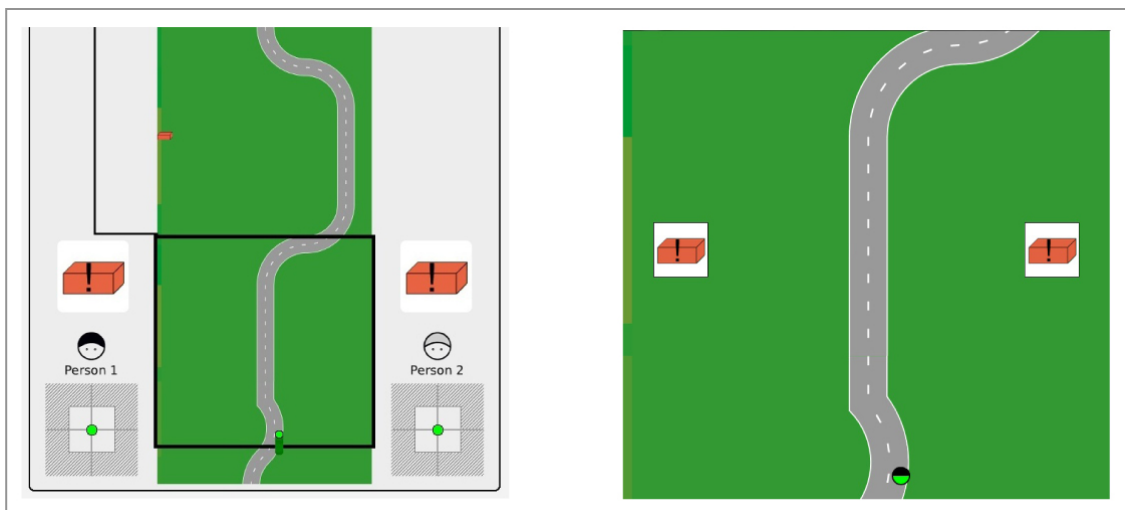


Abbildung 10. Auslösen eines visuellen Hinweises (Hinderniswarnung) durch einen Operateur (nach Schulze, 2012). Das Bild links zeigt die Ansicht des Operateurs. Das entsprechende Symbol des Hinweises wird ihm selbst links und rechts neben der Streckenansicht angezeigt. Das Bild rechts zeigt die Ansicht der Navigatoren. Das entsprechende Hinweissymbol erscheint links und rechts neben der Strecke.

Neben der Möglichkeit, auf Änderungen der Strecke oder im Fahrverhalten hinzuweisen, kann der Operateur auch direkt in den Fahrprozess eingreifen **8**. Dafür kann er die maximal mögliche Geschwindigkeit des Fahrobjekts mithilfe eines

Schieberegler *reduzieren*, jedoch nicht beschleunigen, die Richtung bzw. Steuerung des Fahrobjekts nach links oder rechts *beschränken* sowie den Steueranteil der Navigatoren von ursprünglich jeweils 50% proportional *umverteilen* (zum Beispiel auf 60% vs. 40%). Alle Eingriffe werden mithilfe von Mausbewegungen (Ziehen oder Klicken) getätigt. Bei der Steuerumverteilung sind Mehrfachklicks (jeder Klick entspricht einer Reduktion/Erhöhung des Steueranteils um 5%) möglich, wobei die Ausgangssteuerverteilung, ebenso wie bei der Richtungsbeschränkung, jederzeit auch durch einen einfachen Klick auf den Reset-Button hergestellt werden kann.

Die zwei Schaltflächen in dem Areal oberhalb der visuellen Hinweise dienen zur Messung des Situationsbewusstseins **9**. Bei der zugrunde liegenden Situation Present Assessment Method (SPAM) (Durso et al., 1998) wird das Situationsbewusstsein von Operateuren während des laufenden Überwachungs- und -führungsprozesses erfasst. Dieser Ansatz ermöglicht im Hinblick auf reale Prozessführungskontexte oftmals eine validere Messung des Situationsbewusstseins, als es andere Methoden (zum Beispiel die Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) nach Endsley, 1987) erlauben, die das Einfrieren bzw. Anhalten des Prozesses erfordern (Nachtwei, 2011b). Im ATEO Lab System muss Operateur während des laufenden Trackingprozesses auf ein streckenbezogenes, auditives Signal hin die linke (dann aufleuchtende) Schaltfläche per Mausklick quittieren. Dies aktiviert das Abspielen einer standardisierten, mp3-basierten Frage zum aktuellen oder zukünftigen Systemzustand, welche verbal vom Operateur beantwortet werden muss, bevor er die rechte, nun grün leuchtende Schaltfläche quittiert, um die Messung des Situationsbewusstseins zu beenden. Die Zeit vom Abspielen der Audiodatei bis zur Beantwortung der Frage sowie die Korrektheit der Antwort werden schriftlich vom Versuchsleiter erfasst.

Ebenso wie die SAM-relevanten Informationen wird das Verhalten des Operateurs anhand von Logfiles erhoben. Häufigkeit, Dauer und Wechsel der vom Operateur getätigten Hinweise und Eingriffe lassen sich somit objektiv und reliabel erfassen. Diese Daten werden insbesondere für Post-hoc-Analysen herangezogen, um globale Befunde zu erklären (Kapitel 8). Weitere Informationen zu Personenmerkmalen des Operateurs, wie zum Beispiel Expertise, Persönlichkeitsmerkmale, Workload oder Wachsamkeit werden mithilfe von überwiegend PC-basierten Fragebögen vor, während und nach dem Experiment ermittelt.

7.2.3 Die Entwicklung der teilautomatischen Variante des ATEO Master Displays

Die Entwicklung des ATEO Master Displays erstreckte sich insgesamt über fünf Jahre. In der vorherigen, dreijährigen Phase des ATEO-Projekts wurde ein Prototyp auf Basis systematischer Literaturrecherchen zu Prozessüberwachung und -führung, etablierten Designrichtlinien, anschließenden strukturierten Interviews mit realen Nutzern sowie einer hierarchischen Aufgabenanalyse (Hildebrandt et al., 2010) entwickelt. Der Prototyp wurde mithilfe einer szenario-basierten heuristischen Evaluation sowie iterativen Usability Testungen und auf Basis von Rapid Prototyping durch vier Psychologen und drei Informatiker sukzessive zu einer lauffähigen Interface-Version ausgebaut (Nachtwei, 2011b). Die Entwicklungsschritte werden ausführlich bei Nachtwei (2011b) sowie im Überblick bei Stade et al. (2011a) dargestellt. In Studien zur Leistung des Operators wurden die Ausbaustufen des ATEO Master Displays genutzt, um eine zentrale Ressource von Operateuren, nämlich die Menge an Informationen, zu variieren. Das Ziel bestand darin, die Informationsmenge im ATEO Master Display so zu wählen, dass der Operateur weder mit zu wenigen noch mit zu vielen Informationen versorgt wird (Kapitel 3.2). Beide Extreme können die Leistung von Operateuren beeinträchtigen (O'Hara & Brown, 2002; Sheridan, 2002; Wang & Hwang, 1995). Die finale Ausbaustufe des Interfaces, die bereits erwähnte *manuelle* Variante des ATEO Master Displays, repräsentiert genau den Brückenschlag zwischen zu viel und zu wenig Information (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht).

In einer sich anschließenden, für diese Arbeit zentralen Entwicklungsphase wurde das ATEO Lab System und damit auch die Funktionalität des ATEO Master Displays nochmals erweitert. Das Ziel bestand darin, einem Operateur nicht mehr nur die manuelle, sondern auch die teilautomatische Prozessführung zu ermöglichen. Über einen Zeitraum von zwei Jahren wurde dafür, im Rahmen einer Studien- und anschließenden Diplomarbeit, die Simulationsumgebung SAM um ein sogenanntes ATEO-Automatic-Framework (AAF) ergänzt (Schulze, 2012). Der Entwicklungsprozess erfolgte unter Betreuung eines Diplom-Informatikers sowie der Autorin dieser Arbeit. Ausgehend von einer Anforderungsanalyse zur technischen Erweiterung des ATEO Lab Systems wurden Automatikfunktionen zur Implementation ausgewählt und festgelegt, auf welche Weise der Operateur diese Automatikfunktionen aktivieren und deaktivieren kann und wie die Nutzung von Automatikfunktionen anhand von Logfiles erfasst werden soll. Mit interdisziplinären Expertenworkshops wurde die Implementierung bestehender Automatikkonzepte begleitet.

Der Entwicklungsprozess startete mit einer Anforderungsanalyse, in welcher obligatorische und Wunschkriterien für die Entwicklung von Automatikfunktionen festgelegt wurden. Zu den obligatorischen Kriterien gehörte das Einrichten eines neuen, konfigurierbaren Modus im ATEO Lab System, der neben einer rein manuellen auch eine (teil-)automatische Prozessführung erlaubt. Ebenso mussten weitere Schnittstellen zwischen der SAM und dem ATEO Master Display bereitgestellt werden, um die Kommunikation des Operators mit der SAM nicht nur auf manuellem, sondern auch teilautomatischem Wege zu ermöglichen.

Außerdem wurde die Auswahl von Automatikfunktionen getroffen, die dem Operateur zur Verfügung gestellt bzw. in das ATEO Lab System integriert werden sollten. Dabei konnte auf bereits bestehende Automatikfunktionen zurückgegriffen werden: In Parallelarbeiten des ATEO-Projekts zur Entwicklerperspektive wurden von Entwicklergruppen aus der Industrie diverse Automatikkonzepte entwickelt, um die Prozessüberwachung und -führung von der SAM zu gewährleisten (Niestroj, eingereicht). Aus den insgesamt 30 Automatikkonzepten sollte das beste Konzept empirisch in Bezug zu der Leistung des Operators gesetzt werden, um so die jeweilige Leistung von Entwicklern und Operateuren vergleichen zu können (Kapitel 3.3). Jedes Automatikkonzept kann dabei als Menge unterschiedlicher Automatikfunktionen verstanden werden, die sich je nach Ähnlichkeit wiederum über alle Konzepte miteinander vergleichen und clustern lassen. So existieren beispielsweise Automatikfunktionen zur Streckenführung (Abbremsen vor einem dynamischen Hindernis oder vor Kurven; Rückführung des Fahrobjekts auf die Streckenmittellinie nach Abweichung), Automatikfunktionen zur Visualisierung (Visualisierung der Streckenvorschau oder von Joystickinputs für die Navigatoren selbst) oder Automatikfunktionen zum Ausführen von visuellen und auditiven Hinweisen.

Da das Ziel der Untersuchung darin bestand, den Einfluss von automatischer Unterstützung iterativ auf die Leistung von Operateuren zu untersuchen, wurde seitens der Expertenrunde entschieden, zunächst ausschließlich letztgenannte Automatikfunktionen zur Ausführung visueller und auditiver Hinweise zu implementieren. Eine vorherige Studie zur Leistung von Operateuren (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht) zeigte, dass Operateure von (visuellen und auditiven) Hinweisen im Vergleich zu Eingriffen sehr viel stärker Gebrauch machten (Eingriffe wurden so selten genutzt, dass weiterführende statistische Auswertungen gar nicht möglich waren). Von allen Hinweisen wurden wiederum nur selten die auditiven Kurvenhinweise,

Führungshinweise und ebenso selten der Lob-Hinweis genutzt. Die Leistung von Operateuren wurde somit insbesondere über die Anzahl und Art, Warnungs-, Richtungs- und Geschwindigkeitshinweise zu geben, beeinflusst. Entsprechend sollte sich eine mögliche Verhaltensänderung der Operateure bei der teilautomatischen Prozessführung insbesondere im Umgang mit diesen Hinweisen zeigen.

Entwicklerseitig wurde die Entscheidung, zunächst nur diese ausgewählten visuellen und auditiven Hinweise zu automatisieren, in pragmatischer Hinsicht gestützt. Denn Automatikfunktionen für eben diese Warnungs-, Richtungs- und Geschwindigkeitshinweise waren bereits entwickelt worden. Ihr Vorhandensein reduzierte somit den Aufwand der Implementation erheblich, da auf eine technische Neuentwicklung solcher Automatikfunktionen verzichtet werden konnte. Vor der Implementation war jedoch eine Anpassung dieser Automatikfunktionen nötig: Die bestehenden Automatikfunktionen sind Teile von Automatikkonzepten, welche ursprünglich nicht für die Kooperation mit einem Operateur, sondern als Entwicklerprodukt in Konkurrenz zum Operateur entwickelt wurde. Das originäre Ziel bei der Entwicklung der Automatikkonzepte bestand somit darin, den Operateur zu ersetzen: Anstelle einer rein manuellen Prozessüberwachung und -führung durch den Operateur sollte eine vollautomatische Prozessüberwachung und -führung des komplexen, dynamischen Prozesses (bzw. des kooperativen Trackings) ermöglicht werden. Um nun genau den Zwischenschritt, die teilautomatische Prozessüberwachung und -führung, das heißt die Zusammenarbeit von Operateur und Automation zu ermöglichen, galt es, die bestehenden Automatikfunktionen von dem verantwortlichen Entwickler technisch so zu verändern, dass ein Operateur im ATEO Master Display auch auf diese zugreifen konnte.

Die Integration der Automatikfunktionen in das ATEO Master Display sollte dabei mit einer möglichst geringen Veränderung von dessen Oberfläche einhergehen. Somit wurden Ideen des Entwicklers, für die Automatikfunktionen zusätzliche Schaltflächen an freien Stellen im Bereich der Hinweise anzusiedeln, in der Expertendiskussion mit Informatikern und Ingenieurpsychologen verworfen. Bei dem angestrebten Vergleich von teilautomatischer mit rein manueller Prozessführung sollten Effekte auf die Leistung des Operateurs ausschließlich auf das Verwenden der automatischen Unterstützung zurück geführt werden können. Eine Veränderung der Oberfläche des ATEO Master Displays um weitere Schaltflächen für Automatikfunktionen wurde insbesondere aus methodischer Sicht als gravierende und

schwer kontrollierbare Erweiterungsform eingestuft. Allein die neue Anordnung der Schaltflächen könnte völlig neue, unerwartete Interaktionsmuster des Operators hervorrufen. In der Konsequenz wären Verhaltens- und Leistungsänderungen gerade nicht mehr mit Sicherheit auf die Teilautomatisierung allein, sondern möglicherweise auf eben diese neue Schaltflächenanordnung zurückführbar. Statt neue Schaltflächen anzulegen, wurde entschieden, die Automatikfunktionen in bestehende (Hinweis-)funktionen zu integrieren. Eine Auswahl an Hinweisfunktionen wurde somit bezüglich Funktionalität und damit auch Inputmodalität erweitert. Dabei wurden insgesamt 10 visuelle und auditive Hinweise, zwei visuelle Warnungshinweise sowie alle visuellen und auditiven Richtungs- und Geschwindigkeitshinweise um Automatikfunktionen erweitert (Abbildung 11).

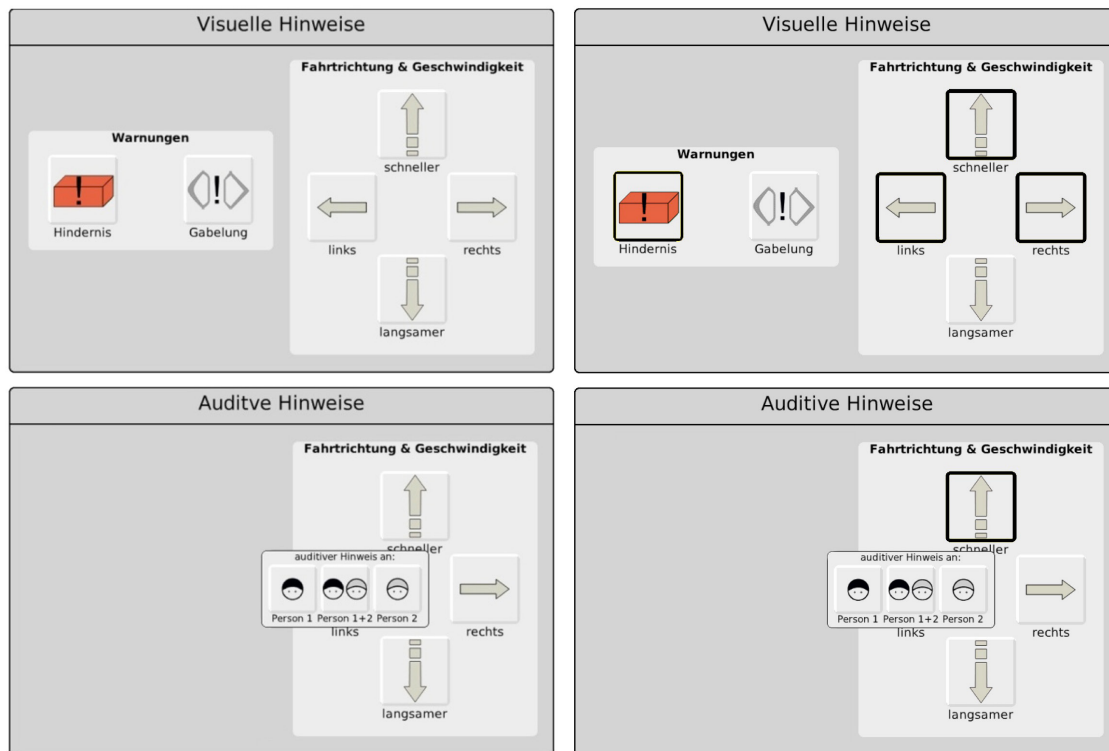


Abbildung 11. Die automatische Unterstützung im ATEO Master Display. In der teilautomatischen Variante des ATEO Master Displays werden 10 (visuelle und auditive) Hinweise mit Automatikfunktion angeboten. Ob eine Automatikfunktion aktiviert, das heißt eingeschaltet wurde, wird dem Operator über eine farblich aufleuchtende (hier: schwarze) Umrandung der Schaltfläche zurückgemeldet. Links: Alle Hinweise werden aktuell manuell ausgelöst. Rechts: Die (hier: schwarz) umrandeten Hinweise (Hinderniswarnung, visuelle Richtungshinweise sowie visuelle und auditive Geschwindigkeitshinweise „Schneller fahren“) werden aktuell von einer Automatikfunktion nach einem jeweils zugrunde liegenden Algorithmus ausgelöst.

Alle Hinweise und Eingriffe werden in der manuellen Variante des ATEO Master Displays mithilfe eines Linksklicks der Maus aktiviert. Die Aktivierung der jeweils integrierten Automatikfunktion sollte sinnhafter Weise in ähnlicher Modalität erfolgen können. Dies macht zum einen inhaltlich Sinn, da die Schaltflächen bereits im Sinne der Displayassistentz zur Unterstützung der Wahrnehmung (Wandke, 2005) erhoben gestaltet und die Hinweisbetätigungen mithilfe von Mausklicks bereits im Training erlernt wurden. Zum anderen bringt eine ähnliche Modalität den messmethodischen Vorteil, dass das Auslösen von manuellen und auditiven Hinweisen bezüglich des motorischen und zeitlichen Aufwands vergleichbar ist. In der teilautomatischen Variante des ATEO Master Displays wurde daher bei den betroffenen 10 Hinweisen *für das manuelle Auslösen von Hinweisen der Linksklick beibehalten* und für die *Aktivierung der Automatikfunktion der Rechtsklick* als Modalität gewählt.

Orientierung und Feedback gehören zu den relevantesten Aspekten beim User-Interface Design (Oppermann, 2002). Feedback darüber, dass die Automatikfunktion aktiv ist, erhalten die Operateure über eine (gelb) aufleuchtende Umrandung der Schaltfläche, welche nach Aktivierung derselben aufleuchtet und bei Deaktivierung erlischt. Bezogen auf die Taxonomie von Wandke (2005) entspricht diese direkte Rückmeldung zur Aktivität der Automation der Wahrnehmungs- und zugleich der Feedback-Assistentz. Letztere ermöglicht es dem Operateur, eine Rückmeldung über einen durch ihn selbst veränderten Systemzustand zu erhalten. Wie beim manuellen Auslösen von Hinweisen erhält der Operateur auch bei den automatischen Hinweisen eine Rückmeldung, sobald diese ausgelöst wurden: Die entsprechenden Hinweissymbole des automatisch ausgelösten Hinweises werden ihm dafür – analog zu den manuell ausgelösten – links und rechts neben der Streckenansicht präsentiert. Diese Form der Rückmeldung ist orientiert an Wandke (2005) ebenfalls als Feedback-Assistentz einzuordnen und unterstützt daneben die Informationsintegration des Operateurs. Der Operateur erhält die Möglichkeit, das Wirken der Automation zu beurteilen, indem er eine gekoppelte Information zu Häufigkeit und Situation ausgelöster Hinweise erhält. So kann der Operateur einerseits registrieren, dass die Automation aktiv ist (aufleuchtende Umrandung der Schaltfläche) und andererseits nachvollziehen, wann die Automation Hinweise an die Navigatoren ausgelöst hat (Erscheinen der Symbole links und rechts neben der Streckenansicht).

Als Resultat des Entwicklungsprozesses existiert eine erweiterte Version des ATEO Lab Systems, die dem Versuchsleiter via Konfiguration den Zugang zu bzw. die

Darbietung von zwei unterschiedlichen Varianten des ATEO Master Displays erlaubt: Zum einen eine Baseline-Variante, die Operateuren eine manuelle Prozessüberwachung und -führung ermöglicht. Das Auslösen von Hinweisen erfolgt hier somit ausschließlich über Linksklicks. Zum anderen die erweiterte Variante des ATEO Master Displays, welche Operateuren die teilautomatische Prozessüberwachung und -führung erlaubt. 10 visuelle und auditive Hinweise werden in dieser Variante mit integrierter automatischer Funktion angeboten. Das manuelle Auslösen dieser Hinweise ist weiterhin mithilfe von Linksklicks möglich. Die Delegation des Auslösens von Hinweisen an eine Automation erfolgt dann bei Rechtsklick auf denselben Hinweisbutton. Das Deaktivieren der Automation erfolgt entweder wieder mithilfe eines Rechtsklicks oder durch einen Linksklick auf die entsprechende Schaltfläche (in diesem Fall wird zugleich mit dem Ausschalten der Automation ein manueller Hinweis gegeben). Der Umgang mit der automatischen Unterstützung wird auch in Kapitel 7.5.1 nochmals aufgegriffen.

7.3 Versuchsdesign

Das Ziel der Studie besteht in der Untersuchung, ob und wie sich eine teilautomatische Prozessüberwachung und -führung im Vergleich zu einer rein manuellen Prozessüberwachung und -führung der Operateure auf deren Leistung (Zeit und Fehler des Trackings) sowie auf leistungsrelevante Zustände der Navigatoren (Anstrengung) und des Operateurs (Workload und Situationsbewusstsein) auswirkt. Bei dem Versuchsdesign handelt es sich um einen Zwei-Gruppen-Vergleich: Zentrale unabhängige Variable ist die *Art der Prozessüberwachung und -führung* (dichotom: manuell vs. teilautomatisch). Daneben werden jeweils zusätzliche Kontrollvariablen (metrisch) im Sinne inkrementeller Varianzaufklärung überprüft. Als abhängige Variablen (jeweils metrisch) werden die Leistung (Geschwindigkeit und Genauigkeit des Trackings), die Anstrengung der Navigatoren sowie leistungsrelevante Zustände des Operateurs (Workload und Situationsbewusstsein) bei der Prozessüberwachung und -führung des komplexen, dynamischen Prozesses (SAM) betrachtet. Die Operationalisierung der Variablen wird in den folgenden Abschnitten (Kapitel 7.4 und 7.5) näher beschrieben. Da für die statistische Auswertung die multiple lineare Regression genutzt wird, welche gemeinhin nicht für experimentelle, sondern korrelative Designs verwendet wird (Field, 2009), werden in diesen Abschnitten

anstelle von unabhängiger und abhängiger Variable die Bezeichnungen Prädiktor (für die unabhängige Variable) und Kriterium (für die abhängige Variable) verwendet.

Mithilfe von Post-hoc-Analysen werden identifizierte oder ausgebliebene Zusammenhänge zwischen den Gruppen näher überprüft. Ebenso können deskriptive und multivariate Zusammenhangsanalysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung weiteren Aufschluss darüber geben, ob Unterschiede in Häufigkeit und Art der Nutzung bestehen und ob solche Unterschiede im Zusammenhang mit Kriterien stehen, für die global ein Effekt ausgewiesen wurde.

7.4 Operationalisierung der Kriterien für die globalen Analysen

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Kriterien Leistung und leistungsrelevante Zustände des Operators gemessen werden. Prädiktoren und Kriterium müssen sich identisch über beide Bedingungen (manuelle vs. teilautomatische Prozessführung) messen lassen. Aussagen zu Art und Anzahl der Nutzung von Automatikfunktionen lassen sich demnach ausschließlich innerhalb der teilautomatischen Bedingung treffen. Um die Vergleichbarkeit zu einer früheren Studie zu wahren, in welcher die manuelle Variante des ATEO Master Displays evaluiert wurde (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht), folgt die hier gewählte Operationalisierung soweit möglich eben dieser erwähnten Studie.

Da die Aufgabe des Operators darin besteht, sowohl die Geschwindigkeit als auch die Genauigkeit des Trackings zu optimieren, wird die Leistung entsprechend durch Zeit und Fehler des Trackings repräsentiert. Dabei ist jedoch nicht nur entscheidend, *ob* der Operator die Gesamtleistung des Systems hinsichtlich der von den Navigatoren benötigten Zeit und provozierten Fehler optimiert, sondern auch, *wie* er dies tut, das heißt, wie er zur Erreichung des Gesamtziels mit den beiden Navigatoren interagiert (hat). Als ein globales Maß dafür kann die Anstrengung der Navigatoren gesehen werden, die nach jeder Fahrt individuell von beiden angegeben und daraufhin für den Operator im ATEO Master Display visualisiert wird. Daher wird der Operator auch danach bemessen, ob er in der Lage ist, die Erreichung des übergeordneten Ziels, Optimierung von Geschwindigkeit und Genauigkeit des Trackings, nicht (nur) auf Kosten der Anstrengung beider Navigatoren vorzunehmen. Im Vergleich von Operateuren, welche Geschwindigkeit und Genauigkeit vergleichbar gut optimiert

haben, würden entsprechend solche Operateure besser abschneiden, bei denen die Navigatoren nur eine relativ geringe Anstrengung aufweisen.

Generell ist zu beachten, dass die Leistung des Operators bei der Prozessüberwachung und -führung der beiden Navigatoren genau genommen keine individuelle Leistung des Operators, sondern eine Teamleistung repräsentiert: Sie resultiert aus dem interagierenden Verhalten aller drei Versuchspersonen bzw. aus dem kooperativen Fahrverhalten beider Navigatoren in Kombination mit Hinweisen und Eingriffen des Operators. Entsprechend wird die Leistung des Operators auch über SAM-spezifische Variablen operationalisiert.

Neben Effekten der automatischen Unterstützung auf die Leistung des Operators wie Fehler und Zeiten (als Leistungsfolgen zu verstehen), spielen auch Leistungsvoraussetzungen eine Rolle. So sind unterschiedliche Auswirkungen von Automationsstufen auf den Workload und das Situationsbewusstsein von Operateuren in der Literatur vielfach nachgewiesen worden (Kapitel 5.1; 5.5; 6.2). Entsprechend werden auch in dieser Studie leistungsrelevante Zustände sowohl für den Operateur (Workload und Situationsbewusstsein) als auch für die Navigatoren (Anstrengung) berücksichtigt.

7.4.1 Zeit

Ein Aspekt der Leistung des Operators stellt die zeitliche Dauer des Trackings dar, das heißt die Frage, wie lange die Navigatoren für ihr Tracking benötigen. Für jede der messrelevanten Fahrten 9 bis 11 wird die jeweilige absolute Zeit in Millisekunden berechnet, welche die beiden Navigatoren, unterstützt durch den Operateur, benötigt haben. Als Gesamtzeit wird sodann die über die Fahrten 9 bis 11 gemittelte zeitliche Dauer des Trackings berechnet.

7.4.2 Fehler

Ein weiterer Leistungsaspekt sind die Fehler im Tracking, die während der messrelevanten Fahrten 9 bis 11 anfallen. Trackingfehler werden pro Fahrt klassischerweise als Abweichung des Fahrobjekts von der Strecke gemessen. Diese Abweichung zwischen aktueller und optimaler Position (Streckenmitte bzw. weiße

Linie) wird dabei in der Einheit von Pixeln (px) ermittelt. Pro Fahrt wird die kumulierte Abweichung und darauf basierend der Gesamtfehler als mittlere Summe der (kumulierten) Trackingfehler über die Fahrten 9 bis 11 berechnet.

7.4.3 Anstrengung der Navigatoren

Neben der Erreichung des Gesamtziels (Optimierung der Geschwindigkeit und Genauigkeit des Trackings), können Operateure auch hinsichtlich der Frage bewertet werden, wie stark sie den Zustand der Navigatoren selbst im Blick behalten. Aus diesem Grund wird als drittes Kriterium die Anstrengung der beiden Navigatoren herangezogen. Ihre Anstrengung schätzen beide Navigatoren computerbasiert jeweils kurz nach jeder Fahrt auf einer adaptierten Form der *Rating Scale Mental Effort* (Zijlstra & van Doorn, 1985) ein, die als RSE_A bezeichnet wird. Diese Skalenwerte werden für den Operateur im Master Display visualisiert (Kapitel 7.2.2). Für die Auswertung werden beide Werte jeweils als Team-Anstrengung pro Fahrt gemittelt. Der Gesamtwert ergibt sich als mittlere Summe der Teamanstrengungen über die Fahrten 9 bis 11. Dieser Gesamtwert repräsentiert die Anstrengung, mit welcher beide Navigatoren das Tracking unter dem Einfluss des Operateurs bewältigt haben.

7.4.4 Workload des Operateurs

Der Workload des Operateurs wurde zum einen mithilfe der Subskala des NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) zum Mental Workload und einer (anderen) adaptierten Form der Rating Scale Mental Effort von Zijlstra (1993), hier als $RSME_A$ erfasst. Zusätzlich wurde der Workload von Operateuren mithilfe einer Reaktionszeitmessung im Sinne der SPAM (Durso et al., 1998) geschlossen. In jeder messrelevanten Fahrt 9 bis 11 wird der Operateur mit einem unangekündigten Reiz konfrontiert. Dabei leuchtet streckenabhängig, von einem auditiven Signal begleitet, eine Fläche grün auf (Kapitel 7.2.2). Während des laufenden Prozesses, in diesem Fall während der Prozessüberwachung und -führung des kooperativen Trackingprozesses, muss der Operateur diesen Reiz quittieren (Anklicken der aufleuchtenden Fläche). Gemessen wird die Reaktionszeit von der Dauer des farblichen Aufleuchtens der Fläche bis zum Quittieren derselben. Der Gesamtwert ergibt sich, indem der Subskalenwert des

NASA-TLX, der Skalenwert der RSME_A sowie die mittlere Summe der drei oben beschriebenen Reaktionszeiten in den Fahrten 9 bis 11 z-standardisiert und zu einem Workload-Index aggregiert werden.

Anzumerken ist, dass die Messzeitpunkte der drei Maße des Workload-Index unterschiedlich sind. Die zwei subjektiven Maße des Workloads (Subskala des NASA-TLX und RSME_A) wurden nach dem eigentlichen Versuch gemessen, die objektive Reaktionszeitmessung fand jeweils während der Fahrten 9 bis 11 statt. Damit überschneiden sich die Messzeitpunkte der Reaktionszeitmessung (Teil des Kriteriums) und die der systematisch betrachteten Prädiktoren (Anzahl von Hinweisen und Eingriffen). Das ist methodisch bedenklich, da die Vorhersage eines Kriteriums im Zuge der multiplen linearen Regression streng genommen die zeitlich frühere Erfassung von Prädiktoren erfordert (Bortz, 2005). Um die zentralen Kriterien im Vergleich zu der bereits erwähnten früheren Studie in der zweiten ATEO-Projektphase (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht; Nachtwei, 2011b; Kapitel 7.4) konstant zu halten, wird diese methodische Limitation von vornherein in Kauf genommen und der Workload-Index beibehalten. Die einschränkende Kausalaussage wird jedoch später diskutiert.

7.4.5 Situationsbewusstsein des Operators

Um das Situationsbewusstsein von Operateuren zu erfassen, wurde ebenfalls auf die SPAM (Durso et al., 1998) zurückgegriffen und die reaktionszeitbasierte Messung des Workloads erweitert. Das Quittieren (Anklicken) der aufleuchtenden Fläche (Kapitel 7.4.4) löst das Abspielen einer via Audiodatei präsentierten, standardisierten Frage zu vorher erlernten Trainingsinhalten aus. In jeder der messrelevanten Fahrten 9 bis 11 hat der Operateur somit eine Frage zu beantworten. Die Zeit bis zur Antwort des Operateurs wird mithilfe einer Stoppuhr vom Versuchsleiter gemessen. Erhoben werden die Zeit bis zur Beantwortung der abgespielten Frage sowie die korrekte Beantwortung aller abgespielten Fragen. Der Gesamtwert ergibt sich aus der mittleren Summe der beschriebenen Zeiten bis zur Antwort der in den Fahrten 9 bis 11 gestellten Fragen. Zudem wird die Korrektheit der beantworteten Fragen in Prozent einbezogen. Die mittlere Zeit bis zur Antwort und die Prozente korrekter Antworten werden zuvor z-standardisiert und zu einem Situationsbewusstseins-Index gemittelt.

Ebenso wie bei der Messung von Teilvariablen des Workload-Index überschneiden sich hier die Messzeitpunkte der systematisch mitgeführten Prädiktoren

und des Kriteriums. Das Konzept des Situationsbewusstseins erfordert per definitionem (Endsley, 1995) seine Messung *während* des Prozesses. Somit können mögliche Zusammenhänge zwischen der (während des Prozesses) erhobenen Anzahl an Hinweisen und Eingriffen und dem Situationsbewusstsein nur eingeschränkt kausal interpretiert werden (Kapitel 9).

7.5 Operationalisierung der Prädiktoren für die globalen Analysen

Nachfolgend zu den Kriterien wird in diesem Kapitel beschrieben, wie die Prädiktoren gemessen werden. Die *Art der Prozessführung* stellt den zentralen Prädiktor dar. Die Prädiktoren *Vorherige Anstrengung der Navigatoren*, *Anzahl von ausgelösten Hinweisen durch den Operateur* und *Anzahl von Eingriffen durch den Operateur* werden als Kontrollvariablen betrachtet.

7.5.1 Art der Prozessführung

Den zentralen Prädiktor stellt die Art der Prozessüberwachung und -führung (manuell vs. teilautomatisch) dar. Die Operationalisierung erfolgt dabei über zwei Varianten des ATEO Master Displays, welche der Versuchsleiter jeweils flexibel mithilfe der Konfiguration des ATEO Lab Systems anwählen kann. Im manuellen Modus des ATEO Lab Systems wird Operateuren eine manuelle Variante des ATEO Master Displays präsentiert. Hier müssen alle visuellen und auditiven Hinweise manuell per Linksklick getätigt werden. Ein Linksklick auf einer entsprechenden Schaltfläche eines visuellen oder auditiven Hinweises entspricht somit der direkten Übermittlung dieses Hinweises an die Navigatoren.

Im teilautomatischen Modus des ATEO Lab Systems wird Operateuren die um Automatikfunktionen erweiterte Variante des ATEO Master Displays (AMD_{teilaut}) (Kapitel 7.2.3) präsentiert. In dieser Variante werden 10 der insgesamt 15 visuellen und auditiven Hinweise als teilautomatische Funktionen angeboten: Die beiden visuellen Warnungshinweise für Gabelungen und Hindernisse, die 4 visuellen Geschwindigkeits- und Richtungshinweise sowie die 4 auditiven Geschwindigkeits- und Richtungshinweise. Die Auswahl dieser Funktionen als teilautomatische Funktionen wurde in Kapitel 7.2.3 begründet. Die Schaltflächen dieser 10 Hinweise können zum

einen, wie bisher, manuell mit einem *Linksklick* betätigt werden. Jeder Linksklick entspricht dann der direkten Übermittlung des entsprechenden Hinweises an die Navigatoren, ebenso wie in der manuellen Interface-Variante. Zum anderen kann mit einem *Rechtsklick* auf eine dieser 10 Schaltflächen eine Automatikfunktion angeschaltet werden, die dann nach einem jeweils zugrunde liegenden Algorithmus das Übermitteln von Hinweisen an die Navigatoren anstelle des Operateurs übernimmt. Nach Aktivierung der Automatikfunktion entscheidet somit der Operateur nicht mehr darüber, wann bzw. in welchen Situationen ein Hinweis gegeben wird. Ein Rechtsklick entspricht somit nicht der direkten Übermittlung eines Hinweises an die Navigatoren. Die jeweilige Automatikfunktion bleibt so lange eingeschaltet, bis der Operateur die entsprechende Schaltfläche durch einen Links- oder Rechtsklick wieder ausschaltet. Das Ausschalten der Automatikfunktion mithilfe eines Linksklicks ermöglicht es dem Operateur, zeitgleich mit dem Ausschalten auch noch einen manuellen Hinweis zu geben. Eine Rückmeldung darüber, ob und welche Automatikfunktionen aktiviert wurden, erhält der Operateur mittels einer farblichen Umrandung der entsprechenden Schaltfläche, die bei Aktivierung aufleuchtet und bei Deaktivierung wieder erlischt.

7.5.2 Vorherige Anstrengung der Navigatoren

Neben dem zentralen Prädiktor werden weitere Variablen mit einbezogen, von denen ein zusätzlicher Zusammenhang insbesondere mit der Leistung erwartet werden kann. So liegt nahe, dass die Anstrengung der Navigatoren, welche nach jeder Fahrt erfasst wird, im Zusammenhang mit der Leistung steht (Kapitel 6.2). Um kausale Aussagen im Sinne eines Effekts von Anstrengung der Navigatoren auf die Leistung treffen zu können, wurde nicht die Anstrengung der Navigatoren in Fahrten 9 bis 11 als Prädiktor betrachtet. Stattdessen wurde die zeitlich früher berichtete Anstrengung der Navigatoren direkt nach Fahrt 8 als (zweiter) Prädiktor verwendet. Denn wie bereits in Kapitel 7.4.4 angemerkt, erlaubt streng genommen erst die zeitlich vorgelagerte Erfassung von Prädiktoren deren Vorhersage eines später erfassten Kriteriums (Bortz, 2005). Die RSE_A -Skalenwerte beider Navigatoren nach Fahrt 8 wurden zu einem Teamwert der Anstrengung gemittelt.

7.5.3 Anzahl von ausgelösten Hinweisen durch den Operateur

Es interessiert außerdem, ob die Anzahl aller manuellen und automatisch ausgelösten Hinweise zusätzlich die Leistung oder leistungsrelevante Zustände des Operators oder die Anstrengung der Navigatoren vorhersagt (Kapitel 6.2). Berechnet wird die Summe aller (manuell und automatisch) *ausgelösten* Hinweise, deren jeweilige Anzahl mittels Logfilemessung in CSV-Dateien vorliegt.

Dieses Maß ist nicht zu verwechseln mit der Anzahl von Mausklicks des Operators auf die zugehörigen Schaltflächen der Hinweise. Denn während die Anzahl an Linksklicks exakt der Anzahl an manuell ausgelösten Hinweisen entspricht, aktivieren Rechtsklicks auf die Schaltflächen (in der teilautomatischen Bedingung) eine Automatik, die nach bestimmten Regeln eigenständig Hinweise auslöst. Aus Sicht der beiden Navigatoren ist jedoch nicht unterscheidbar, ob es sich um einen manuell oder automatisch ausgelösten Hinweis handelt. Dies macht die Berechnung und den Vergleich von (ausgelösten) Hinweisen über beide Bedingungen möglich (methodisch nicht möglich wäre dagegen das Aufsummieren von tatsächlichen Klicks auf die Schaltflächen durch den Operateur über beide Bedingungen).

7.5.4 Anzahl von Eingriffen durch den Operateur

Neben der Anzahl an manuellen und automatischen Hinweisen wird ebenfalls geprüft, ob die Eingriffe, welche der Operateur tätigt, einen Zusammenhang mit der Leistung, mit den leistungsrelevanten Zuständen des Operators oder mit der Anstrengung der Navigatoren aufweist. Berechnet wird die Summe aller getätigten Eingriffe, deren jeweilige Anzahl mittels Logfilemessung vorliegt.

7.6 Versuchsablauf

Teilnehmer in der Rolle von Operateuren wurden im Vorhinein per Email darüber informiert, dass sie die Überwachung und Führung eines komplexen, dynamischen Prozesses übernehmen würden. Teilnehmer in der Rolle der Navigatoren wurden darüber informiert, dass sie ein Fahrobjekt entlang einer virtuellen Strecke steuern sollten.

Der experimentelle Ablauf in beiden Bedingungen (manuell vs. teilautomatisch) war nahezu identisch, mit Ausnahme eines PC-basierten Persönlichkeits- und Intelligenztests, den nur Probanden (Operateure wie Navigatoren) in der teilautomatischen Bedingung zusätzlich am Ende des Versuchs durchlaufen haben.

Der Versuchsablauf gestaltet sich dann wie folgt: Jeder der 81 Operateure erhält zunächst ein ca. 80-minütiges Training der Prozessüberwachungs- und -führungsaufgabe, welches sich aus theoretischen und praktischen Bestandteilen zusammensetzt und mit einem Wissenstest abschließt. Im Anschluss beginnt die Fahrsimulation, das heißt, der Operateur übernimmt die ca. 40-minütige Überwachung und Führung des kooperativen Trackings über insgesamt 11 Fahrten. Fahrten 1 bis 4 stellen dabei Trainingsdurchläufe der Navigatoren, allein und gemeinsam mit dem Versuchsleiter, dar. In den Fahrten 5 bis 7 finden erstmals kooperative Trackings der beiden Navigatoren, jedoch noch ohne Hinweise und Eingriffe durch den Operateur, statt. In Fahrt 8 kann der Operateur zum ersten Mal Hinweise und Eingriffe am ATEO Master Display nutzen, um den Tracking Prozess zu optimieren. Den beiden Navigatoren wird entsprechend vor Fahrt 8 angekündigt, dass sie ab jetzt von einer Software unterstützt werden. In den jeweils gleichlangen und strukturell identischen finalen Fahrten 9, 10 und 11 wird die für den Versuch relevante Prozessüberwachungs- und führungsleistung erhoben. Alle Probanden schätzen nach jeder Fahrt ein, wie anstrengend sie die jeweilige Fahrt fanden. Am Ende des Durchlaufs der Fahrsimulation durchlaufen alle Teilnehmer eine Batterie aus unterschiedlichen PC- und papierbasierten Fragebögen, welche nochmals ca. 60 Minuten in Anspruch nimmt. Ein Versuchsablauf dauert damit pro Team aus Operateur und zwei Navigatoren insgesamt 3 bis 3,5 Stunden.

8. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der deskriptiven und multivariaten Analysen dargestellt. In Abschnitt 8.1 wird zunächst die Datenanalyse mittels multipler linearer Regression beschrieben. Der Ergebnisbericht beginnt in Kapitel 8.2 mit der Darstellung deskriptiver Ergebnisse zur Nutzung der automatischen Unterstützung (Hypothese 1.0). In Kapitel 8.3 werden Ergebnisse multivariater Analysen mithilfe der multiplen linearen Regression berichtet, in welchen der Zusammenhang zwischen der Art der Prozessüberwachung und -führung und den Kriterien Zeit, Fehler, Anstrengung der Navigatoren, Workload und Situationsbewusstsein des Operators global ermittelt wird (Hypothesen 2.0 bis 5.0). Dabei werden wo möglich und sinnvoll jeweils direkt Post-hoc-Tests angeschlossen, die zur Erklärung eines Ergebnisses beitragen können. Ausgehend von ermittelten globalen Effekten schließen sich weitere Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung an (Kapitel 8.4), in welchen Zusammenhänge der Art und Nutzung der automatischen Unterstützung mit den zentralen Kriterien näher beleuchtet werden können (Hypothesen H 6.0 bis 6.4).

8.1 Datenanalyse

Zur Analyse der globalen Vergleiche wurde die multiple lineare (hierarchische) Regression herangezogen. Dieses Verfahren wird gerade dann, wenn es um die Analyse von Wechselwirkungen geht, als „current best practice“ (Frazier, Tix und Barron, 2004, S. 117) bezeichnet. Mit Blick auf die komplexen Versuchsumgebungen bzw. für die Vorhersage der multideterminierten Leistung von Operateuren wird die multiple lineare Regression als leicht nachvollziehbares, über übliche Statistikpakete zugängliches (Frazier et al., 2004) und detailliert dokumentiertes (z. B. Field, 2009) Verfahren empfohlen. Es erlaubt die systematische Berechnung von (inkrementellen) Varianzanteilen einzelner Variablen (Cohen, Cohen, West & Aiken, 2003), so auch von Kontroll- bzw. Moderatorvariablen (Meyer, 2009; Meyer, Nachtwei & Kain, 2009). Damit bringt sie entscheidende Vorteile, nicht nur für die experimentelle Forschung, mit sich (Stade, Meyer, Niestroj & Nachtwei, 2011b). Denn die MLR ist klassischen Verfahren in diesem Bereich wie ANOVA bzw. ANCOVA überlegen (Cohen, 1982; Davis, 2010), deren Einsatz bei der Analyse komplexer Bedingungsgefüge ohnehin oftmals kritisiert wird (z. B. Aiken & West, 1991; Frazier et al., 2004). Mithilfe eines

eigens an der Humboldt-Universität entwickelten Tools kann nicht nur die Berechnung der MLR selbst, sondern auch die notwendige Voraussetzungsprüfung (Field, 2009; Stade et al., 2011b) für dieses Verfahren effizienter und zugleich mathematisch genauer durchgeführt werden (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht). Eine Übersicht über die wesentlichen Voraussetzungen der multiplen linearen Regression und ihrer Behandlung und Prüfung wird im Detail bei Stade et al. (2011b) beschrieben.

Für die zentralen globalen Vergleiche wurden fünf Regressionsmodelle berechnet, in welchen jeweils drei Prädiktoren zur Vorhersage eines jener fünf Kriterien einbezogen wurden. Die Auswahl und Reihenfolge der Prädiktoren ist entscheidend, da nur selten von unkorrelierten Prädiktoren auszugehen ist. So kann die gewählte Einschlussmethode den Anteil der Varianzaufklärung einzelner Prädiktoren oder ihre Beziehungen untereinander extrem verändern (Bortz, 2005). Das Resultat können schwankende Beta-Koeffizienten sein, die sich beträchtlich auf das Regressionsmodell (Bortz, 2005; Field, 2009) auswirken. Im Gegensatz zu rein mathematischen Einschlussmethoden wie die schrittweisen Methoden von Prädiktoren ermöglicht das hierarchische, blockweise Vorgehen nach Aiken und West (1991) sowie Field (2009) die methodisch sauberste Prädiktorenauswahl. Hier bestimmt der Versuchsleiter auf Basis theoretischen oder empirischen Vorwissens selbst über Anzahl und Reihenfolge an Prädiktoren. Da aufgrund der extensiven Forschungsarbeit im ATEO-Projekt reichlich Vorwissen über die interessierenden Variablen besteht, wurde dieses Vorgehen auch in der vorliegenden Studie zugrunde gelegt. Gemäß der Anzahl an Prädiktoren wurden vier separate Blöcke gewählt und im ersten Block die *Art der Prozessführung*, im zweiten Block die *vorherige Anstrengung der beiden Navigatoren*, im dritten Block die Gesamtanzahl der manuellen und auditiven *Hinweise des Operateurs* und im vierten Block die Gesamtanzahl aller *getätigten Eingriffe des Operateurs* eingefügt.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich die jeweilige Anzahl an Prädiktoren, die in das Regressionsmodell aufgenommen werden (können) immer auch nach der Stichprobengröße richtet. Nach Daumenregeln von Green (1991) werden beispielsweise 15 Probanden pro Prädiktor – bei vier Prädiktoren also 60 Probanden – benötigt. Field (2009) empfiehlt, zusätzlich auch das vorgegebene α /Wahrscheinlichkeits-, das (angestrebte) $1-\beta$ /Teststärken-Niveau und insbesondere die erwartete Effektstärke mit zu berücksichtigen. Rechnerisch kann für diese differenziertere Kalkulation auf das Softwareprogramm *gpower* (Erdfelder, Faul & Buchner, 1996; Faul & Erdfelder, 1992)

zurückgegriffen und a priori oder post-hoc auf den jeweils noch benötigten Parameter geschlossen werden. Der vorliegende Stichprobenumfang von $N = 81$ und die bereits an diesem N ausgerichtete Anzahl an interessierenden Prädiktoren sowie das α /Wahrscheinlichkeitsniveau von $p = .05$ waren vorgegebene Parameter. Eine darauf basierende A-priori-Analyse zur Abschätzung der Effektstärke bei einem angestrebten Teststärkeniveau von $1-\beta = .80$ (Field, 2009) ergab, dass moderate Effektstärken von $f^2 = .14$ und nach Umrechnung (Urban & Mayerl, 2008) $r = .35$ zu erwarten sind.

8.2 Deskriptive Ergebnisse zur Nutzung der automatischen Unterstützung durch den Operateur

In diesem Kapitel werden ausgewählte deskriptive Ergebnisse zur Nutzung der automatischen Unterstützung berichtet. Dabei wird auf die Anzahl, die Häufigkeit, die Art und Kombination genutzter Automatikfunktionen eingegangen sowie auf die Art der Nutzung bzw. Interaktion mit Automatikfunktionen.

8.2.1 Anzahl der Nutzer und Anzahl genutzter Automatikfunktionen

Hypothese 1.0 besagt, dass mehr als die Hälfte der Operateure (mindestens eine der) Automatikfunktionen nutzen. Zur Überprüfung wurde ermittelt, ob bzw. welche der insgesamt zehn Automatikfunktionen (mindestens einmal in den Hauptfahrten 9 bis 11) von wie vielen Operateuren genutzt wurden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 veranschaulicht.

Von insgesamt 41 Operateuren in der teilautomatischen Bedingung nutzten 4 Operateure *keine* Automatikfunktion. In anderen Worten: mehr als die Hälfte (37) der Operateure nutzte die automatische Unterstützung (mindestens eine der Automatikfunktionen wird über die Fahrten 9 bis 11 eingeschaltet). Hypothese 1.0 wird damit bestätigt. Abbildung 12 zeigt weiter, welche Anzahl der Automatikfunktionen von wie vielen der 37 Operateure über die Fahrten 9 bis 11 genutzt wurde. Die meisten Nutzer ($N = 12$ Operateure) machten von zwei Automatikfunktionen Gebrauch. 6 Operateure nutzten lediglich eine Automatikfunktion. Zwischen 3 und 5 Automatikfunktionen wurden jeweils von 4 bis 5 Operateuren eingesetzt.

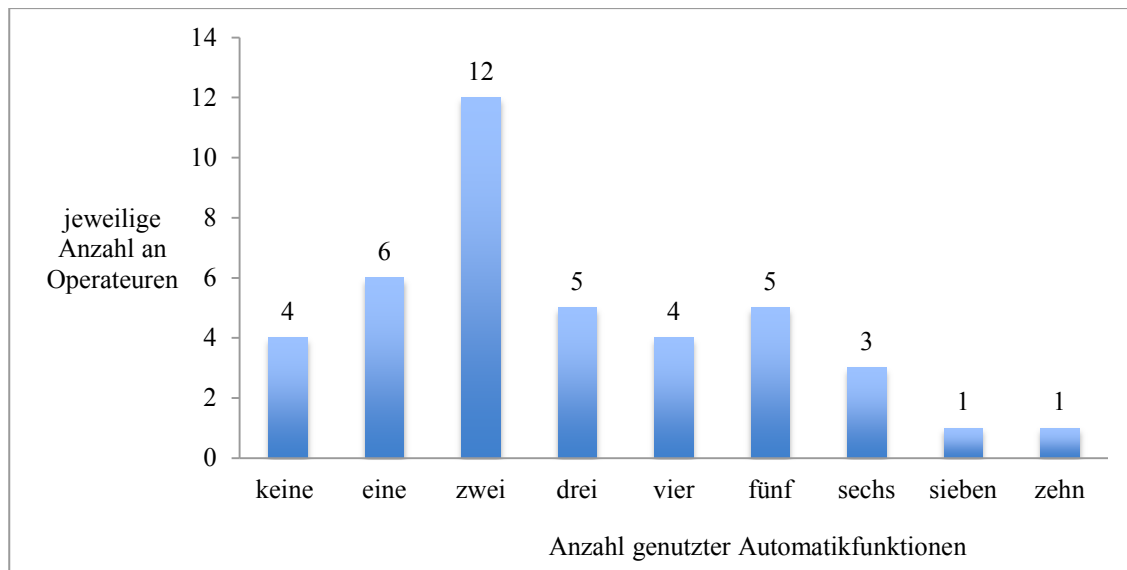


Abbildung 12. Anzahl genutzter Automatikfunktionen. Das Diagramm veranschaulicht, wie viele Automatikfunktionen überhaupt (über die Fahrten 9 bis 11) von wie vielen der 41 Operateure genutzt wurden. (im Mittel wurden $M = 4.56$ Automatikfunktionen genutzt ($Mdn = 4$, $SD = 3.29$)).

Die wenigsten Operateure haben die Mehrzahl an Automatikfunktionen mindestens einmal genutzt: Ein Operateur griff auf alle 10 Automatikfunktionen zurück, ein anderer Operateur auf 7 der 10 Automatikfunktionen, 3 weitere Operateure haben 6 unterschiedliche Automatikfunktionen mindestens einmal genutzt.

8.2.2 Häufigkeit der Nutzung von Automatikfunktionen

Es interessiert weiterhin, welche Automatikfunktionen am häufigsten über die 37 Operateure genutzt wurden. Das Ergebnis zeigt Abbildung 13. Je Automatikfunktion lässt sich ablesen, wie viele der insgesamt 37 Operateure (Nutzer) diese Automatikfunktion mindestens einmal über die Fahrten 9 bis 11 eingeschaltet haben.

Es zeigt sich, dass automatische Warnungen am häufigsten über die 37 Operateure genutzt wurden. Dabei wurde insbesondere auf automatische Hinderniswarnungen und Gabelungswarnungen zurückgegriffen. Am nächsthäufigsten wurden automatische visuelle Richtungshinweise sowie der automatische visuelle Hinweis „Schneller fahren“ eingesetzt. Automatische auditive Hinweise sind im Vergleich zu den automatischen visuellen Hinweisen über alle Operateure eher selten genutzt worden.

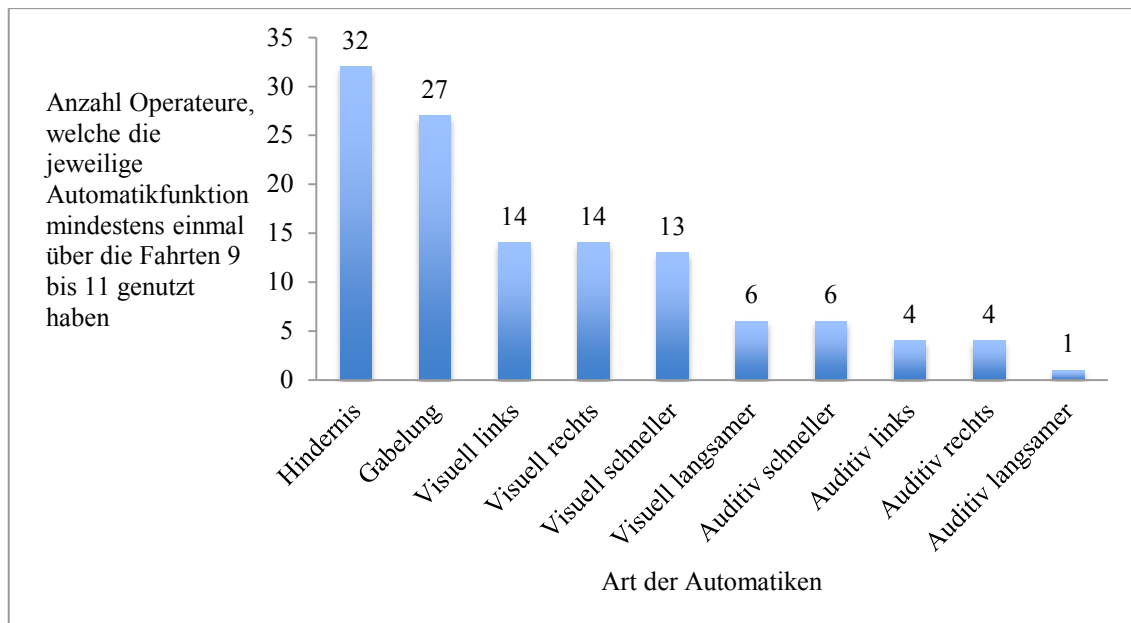


Abbildung 13. Häufigkeit der Nutzung von Automatikfunktionen. Das Diagramm veranschaulicht, welche Automatikfunktionen am häufigsten über alle Operateure genutzt wurden. (Im Mittel nutzten $M = 12,10$ ($Mdn = 9,50$, $SD = 10,30$) eine der Automatikfunktionen mindestens einmal über Fahrt 9 bis 11).

8.2.3 Kombination von Automatikfunktionen

Da die Operateure selbst variieren konnten, welche Automatikfunktionen sie zugleich aktivieren, ist auch von Interesse, welche Automatikfunktionen die Operateure (Nutzer) am häufigsten einzeln einschalteten oder miteinander kombinierten. Es zeigt sich, dass die insgesamt am häufigsten genutzten automatischen Gabelungs- und Hinderniswarnungen meist in Kombination eingesetzt wurden: Von den 32 Operateuren, welche die automatischen Hinderniswarnungen nutzten (Kapitel 8.2.2), setzten 25 Operateure diese (mindestens einmal über die Fahrten 9 bis 11) in Kombination mit automatischen Gabelungswarnungen ein. Nur 2 der 27 Operateure, welche die automatische Gabelungswarnung überhaupt nutzten, taten dies, ohne sie mit der automatischen Hinderniswarnung zu kombinieren. 7 weitere Operateure nutzten keine der beiden automatischen Warnungen (davon die schon bekannten vier Nicht-Nutzer). Wiederum nutzten 10 der 25 Operateure, welche automatische Hindernis- und Gabelungswarnungen kombinierten, zusätzlich auch noch die visuellen Richtungshinweise. Diese 10 Operateure kombinierten also mindestens einmal über die Fahrten 9 bis 11 beide Warnungs- und beide visuellen Richtungshinweise miteinander.

8.2.4 Initiation von Automatikfunktionen

Ebenso ist relevant, auf welche Art und Weise Operateure die Automatikfunktionen nutzen. Da sie jede Automatikfunktion selbstbestimmt initiieren, das heißt aktivieren und deaktivieren konnten, lässt sich betrachten, mit welcher Häufigkeit dieses Aktivieren und Deaktivieren vorgenommen wurde. Abbildung 14 zeigt, wie sich Operateure diesbezüglich in ihrem Nutzungsverhalten voneinander unterscheiden. Neben den bereits in Kapitel 8.2.1 ermittelten 4 Operateuren, die keine der Automatikfunktionen genutzt haben (Nicht-Nutzer), lassen sich die übrigen Operateure (Nutzer) danach unterscheiden, ob sie die Automatikfunktionen ausschließlich einschalten und somit nach dem Einschalten kein weiteres Ein- oder Ausschalten der Automatikfunktion vornehmen („Einfach-Initiatoren“). Dies ist bei $N = 17$ Operateuren der Fall. Die anderen $N = 20$ Operateure („Mehrfach-Initiatoren“) zeichnen sich dagegen durch ein häufiges Initiieren der Automatikfunktionen aus. Mindestens eine der genutzten Automatikfunktionen wird mehrmals ein- und ausgeschaltet.

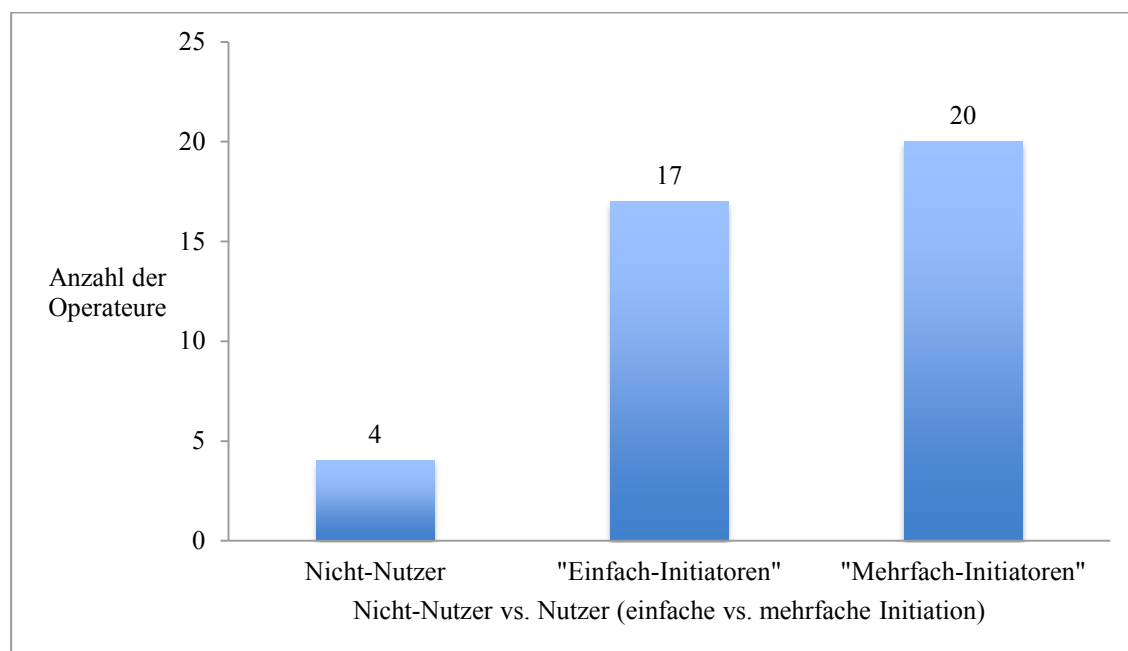


Abbildung 14. Nutzergruppen in Bezug auf die Automatikfunktionen. Das Diagramm veranschaulicht die Anzahl an Nicht-Nutzern und Nutzern („Einfach-Initiatoren“ (einmal An-, kein Ausschalten) und „Mehrfach-Initiatoren“ (häufiges Ein- und Ausschalten)).

Abbildung 15 veranschaulicht zudem, welche Automatikfunktionen häufig aktiviert und deaktiviert wurden. Es zeigt sich, dass es sich dabei insbesondere um die automatischen visuellen Richtungs- und Geschwindigkeitshinweise handelt. Das

unterschiedliche Nutzungsverhalten der Operateure lässt sich zur Erklärung möglicher globaler Effekte heranziehen, auf die in Kapitel 8.3 eingegangen wird. Zuvor werden alle hier ausgewählten deskriptiven Ergebnisse nochmals zusammengefasst (Kapitel 8.2.5).

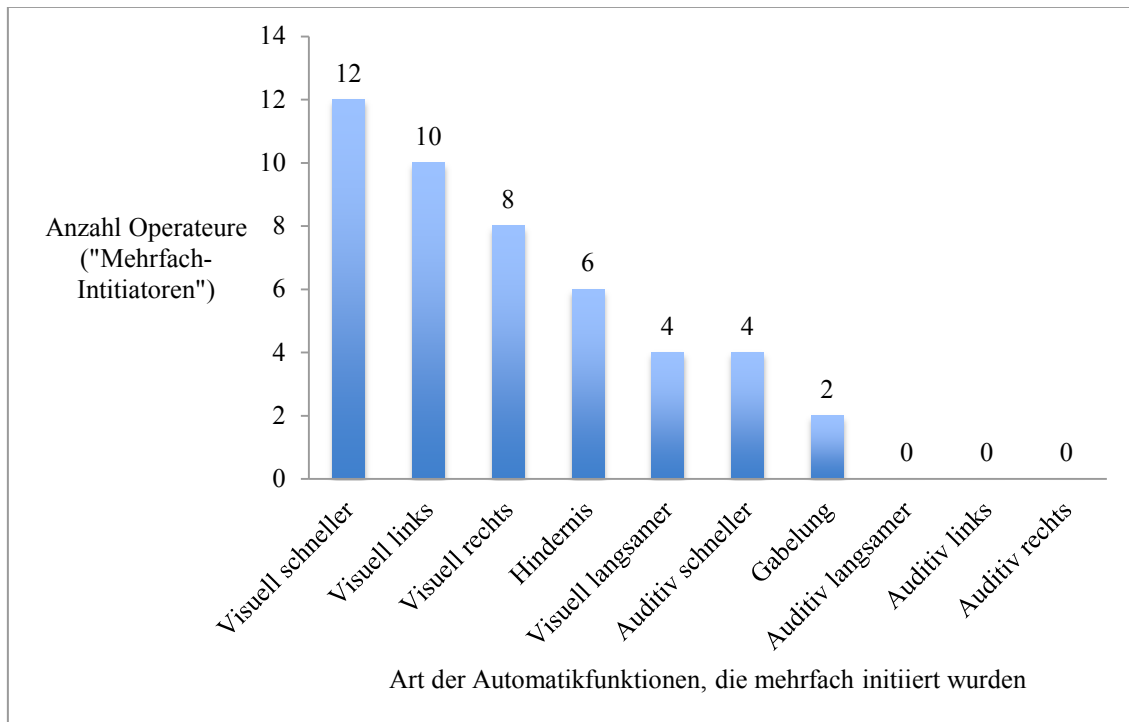


Abbildung 15. Mehrfach initiierte Automatikfunktionen. Das Diagramm veranschaulicht, welche Automatikfunktionen häufig ein- und ausgeschaltet wurden. Im Mittel wurden diese 7 Automatikfunktionen von $M = 4$ ($Mdn = 4$, $SD = 4.33$) Operateuren (Mehrfach-Initiatoren) häufig ein- und ausgeschaltet.

8.2.5 Fazit zu Ergebnissen der deskriptiven Analysen

Die ausgewählten deskriptiven Ergebnisse zur Nutzung der Automatikfunktionen zeigen, dass die Mehrzahl der Operateure ($N = 37$) von der automatischen Unterstützung Gebrauch gemacht hat. Alle Automatikfunktionen wurden dabei von mindestens einem Operateur mindestens einmal über die Fahrten 9 bis 11 genutzt. Dabei unterscheiden sich die 37 Operateure zum einen in der Anzahl genutzter Automatikfunktionen: Die meisten Operateure arbeiten mit zwei Automatikfunktionen zusammen. Dabei greifen die 37 Operateure besonders häufig auf die automatischen Warnungen zurück, die zudem gern in Kombination (Gabelungs- und Hinderniswarnung gemeinsam) eingesetzt werden. Weiterhin unterscheiden sich die 37

Operateure auch darin, *wie* sie Automatikfunktionen nutzen, das heißt, ob sie Automatikfunktionen zeitlich stabil nutzen oder häufig ein- und ausschalten. Insbesondere Gabelungswarnungen werden eher stabil verwendet, visuelle Geschwindigkeits- und Richtungshinweise dagegen eher häufig ein- und ausgeschaltet. Dass die Mehrzahl der Operateure bei der Prozessüberwachung und -führung die automatische Unterstützung genutzt hat, rechtfertigt eine Analyse möglicher globaler Effekte dieser automatischen Unterstützung auf die Leistung, die Zustände des Operateurs und die Anstrengung der Navigatoren. Die entsprechenden Ergebnisse werden in Kapitel 8.3 dargestellt. Die Ergebnisse zur Nutzung der automatischen Unterstützung können später wertvolle Hinweise zur Erklärung globaler Effekte liefern (Kapitel 8.4).

8.3 Ergebnisse der globalen Analyse über die manuelle und teilautomatische Bedingung

Mit dem Wissen, dass 37 der 41 Operateure innerhalb der teilautomatischen Bedingung tatsächlich auf die optional angebotene automatische Unterstützung zurückgegriffen haben, werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse globaler Analysen berichtet. Es interessiert, ob und inwiefern Operateure, die (potenziell) mit einer automatischen Unterstützung zusammenarbeiten konnten, die Leistung in Form von Trackingzeit und -fehlern (Kapitel 8.3.1 und 8.3.2) optimieren können. Diese teilautomatische Bedingung wird dabei mit einer manuellen Bedingung verglichen, in welcher Operateure nicht auf eine automatische Unterstützung zurückgreifen konnten. Neben der Leistung wird zudem betrachtet, ob Operateure in der teilautomatischen vs. manuellen Bedingung die Anstrengung der Navigatoren reduzieren können (Kapitel 8.3.4). Weiterhin interessiert, ob und inwiefern leistungsrelevante Zustände des Operateurs selbst, wie sein Workload (Kapitel 8.3.5) und sein Situationsbewusstsein (Kapitel 8.3.6) verändert werden.

8.3.1 Trackingzeit

Die Leistung des Operateurs wurde zum einen über die Zeit gemessen, welche die beiden Navigatoren für das Tracking benötigen. Dabei wurde die über die Fahrten 9 bis

11 gemittelte Trackingzeit mittels Logfiles erhoben. Erwartet wurde, dass sich die Trackingzeit bei einer teilautomatischen Prozessführung reduzieren würde (Hypothese 2.0a; Kapitel 6.2). In Tabelle 3a werden zunächst die Interkorrelationen (Korrelationen nullter Ordnung) dargestellt. Ergebnisse der multiplen linearen Regression finden sich in Tabelle 3b. Die experimentelle Bedingung, die Art der Prozessüberwachung und –führung, wurde über alle Regressionsmodelle kodiert mit 1 (manuell) und 2 (teilautomatisch).

Tabelle 3a. Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen des Operators, Anzahl von Eingriffen des Operators) und Kriterium (Trackingzeit)

	Trackingzeit	Art der Prozessüberwachung und -führung	Vorherige Anstrengung der Navigatoren	Anzahl Hinweise des Operators
Art Prozessüberwachung und -führung	.094			
Vorherige Anstrengung der Navigatoren	-.037	-.004		
Anzahl Hinweise des Operators	.106	.099	.179	
Anzahl Eingriffe des Operators	.193*	-.093	.081	.108

* $p \leq .05$, einseitig

Tabelle 3b. Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Trackingzeit

	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β	<i>Nullter Ordnung</i>	<i>Teil</i>	<i>p (eins.)</i>
Modell 1						
Konstante	408211,91	84578,37				
Art Prozessüberwachung und -führung	15634,88	18654,98	.094	.094	.094	.204
Modell 2						
Konstante	420418,35	92875,68				
Art Prozessüberwachung und -führung	15611,02	18761,44	.094	.094	.094	.204
Vorherige Anstrengung der Navigatoren	-337,35	1030,62	-.037	-.037	-.037	.372
Modell 3						
Konstante	425053,55	93083,46				
Art Prozessüberwachung und -führung	13817,34	18874,54	.083	.094	.083	.233
Vorherige Anstrengung der Navigatoren	-514,33	1048,70	-.056	-.037	-.055	.313
Anzahl Hinweise des Operators	129,07	138,12	.108	.106	.105	.177
Modell 4						
Konstante	406672,19	92424,47				
Art Prozessüberwachung und -führung	17253,59	18723,02	.104	.094	.102	.180
Vorherige Anstrengung der Navigatoren	-626,31	1036,58	-.068	-.037	-.067	.274
Anzahl Hinweise des Operators	103,42	137,04	.086	.106	.084	.227
Anzahl Eingriffe des Operators	1198,10	679,54	.199	.193	.196	.041

$R^2 = .009$ für Modell 1 ($p = .202$); $\Delta R^2 = .001$ für Modell 2 ($p = .372$); $\Delta R^2 = .011$ für Modell 3 ($p = .177$); $\Delta R^2 = .038$ für Modell 4 ($p = .041$), einseitig

Die (Teil-)Korrelation von $r_{\text{Teil}} = .094$ ($p = .202$, einseitig) weist keinen Zusammenhang zwischen teilautomatischer Prozessführung und Geschwindigkeit des Trackings aus. Die Navigatoren benötigen somit *nicht* weniger (aber auch nicht mehr)

Zeit, wenn der Operateur bei der Prozessführung auf eine automatische Unterstützung zurückgreifen kann, anstatt alle Hinweise manuell tätigen zu müssen. Hypothese 2.0a wird somit nicht angenommen.

Auch die vorherige Anstrengung der Navigatoren sowie die Anzahl getätigter Hinweise können keine zusätzliche Varianz aufklären. Es findet sich jedoch ein Effekt der Anzahl an Eingriffen von $r = .193$ ($p = .042$, *einseitig*) bzw. $r_{\text{Teil}} = .196$ ($p = .041$, *einseitig*). Mit einer erhöhten Anzahl an Eingriffen benötigen die Navigatoren mehr Zeit. Dies ist jedoch unabhängig von der zentralen Bedingung, das heißt unabhängig davon, ob die Prozessführung rein manuell oder teilautomatisch erfolgte. Allerdings wurden im Mittel über die Fahrten 9 bis 11 nur $M = 7.39$ ($SD = 13.90$) Eingriffe im Vergleich zu $M = 75.88$ ($SD = 69.90$) Hinweisen getätigt.

8.3.2 Trackingfehler

Die Leistung des Operators wurde zum anderen über die Fehler gemessen, welche die beiden Navigatoren im kooperativen Tracking verursachen. Dabei wurde mittels Logfiles die kumulierte Abweichung des Fahrobjekts von der Mittellinie der Strecke erhoben und dann über die Fahrten 9 bis 11 gemittelt. Mit Hypothese 2.0b (Kapitel 6.2) wurde angenommen, dass eine teilautomatische (gegenüber einer rein manuellen) Prozessüberwachung und -führung von Operateuren mit weniger Trackingfehlern einhergeht. Die Interkorrelationen der Variablen sind in Tabelle 4a, die Ergebnisse der multiplen linearen Regression in Tabelle 4b dargestellt.

Tabelle 4a. Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Trackingfehler)

	Trackingfehler	Art Prozessüberwachung und -führung	Vorherige Anstrengung der Navigatoren	Anzahl Hinweise des Operators
Art Prozessüberwachung und -führung	-.646*			
Vorherige Anstrengung der Navigatoren	.027	-.004		
Anzahl Hinweise des Operators	-.126	.099	.179	
Anzahl Eingriffe des Operators	-.041	-.093	.081	.108

* $p \leq .001$, *einseitig*

Tabelle 4b. Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Trackingfehler

	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β	<i>Nullter Ordnung</i>	<i>Teil</i>	<i>p</i> (<i>eins.</i>)
Modell 1						
Konstante	11.450.264,28	934260,042				
Art Prozessüberwachung und -führung	-1.551.670,90	206064,493	-.646	-.646	-.646	.000
Modell 2						
Konstante	11.332.463,59	1026079,609				
Art Prozessüberwachung und -führung	-1551440,62	207274,176	-.646	-.646	-.646	.000
Vorherige Anstrengung Navigatoren	3.255,70	11386,214	.025	.027	.025	.388
Modell 3						
Konstante	11.289.308,17	1030063,731				
Art Prozessüberwachung und -führung	-1.534.740,79	208866,154	-.639	-.646	-.636	.000
Vorherige Anstrengung Navigatoren	4903,39	11604,973	.037	.027	.037	.337
Anzahl Hinweise des Operators	-1201,69	1528,395	-.070	-.126	-.068	.217
Modell 4						
Konstante	11.420.939,48	1034857,158				
Art Prozessüberwachung und -führung	-1.559.348,23	209637,739	-.650	-.646	-.643	.000
Vorherige Anstrengung Navigatoren	5.705,32	11606,373	.043	.027	.042	.337
Anzahl Hinweise des Operators	-1.018,02	1534,377	-.059	-.126	-.057	.255
Anzahl Eingriffe des Operators	-8.579,74	7608,679	-.099	-.041	-.097	.132
R ² = .418 für Modell 1 (<i>p</i> = .000); ΔR^2 = .001 für Modell 2 (<i>p</i> = .388); ΔR^2 = .005 für Modell 3 (<i>p</i> = .217); ΔR^2 = .009 für Modell 4 (<i>p</i> = .132), <i>einseitig</i>						

Mit einer Teilkorrelation $r_{\text{Teil}} = -.65$ ($p = .000$, *einseitig*) zeigt sich wie erwartet ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen teilautomatischer Prozessführung und den Fehlern im Tracking, dessen hohe Effektstärke über alle Modellstufen annähernd stabil bleibt. Damit wird Hypothese 2.0b gestützt. Die Navigatoren fahren demnach sehr viel genauer (machen weniger Fehler), wenn der Operateur bei der Prozessführung auf die automatische Unterstützung zurückgreifen kann, anstatt alle Hinweise manuell zu tätigen. Die vorherige Anstrengung der Navigatoren, die Anzahl an Hinweisen sowie die Anzahl an Eingriffen zeigen darüber hinaus keinen Zusammenhang mit der Genauigkeit. Sowohl die Teilkorrelationen als auch die Korrelationen nullter Ordnung weisen nur schwache Effektstärken auf.

Um diesen Effekt auf die Genauigkeit durch die Art der Prozessüberwachung und -führung weiter erklären zu können, wurde das Hinweisverhalten der Operateure über beide Bedingungen näher beleuchtet. Die *Anzahl* aller (manuell und automatisch) durch den Operateur ausgelösten Hinweise trägt, wie in den Tabellen 4a und 4b gezeigt, offenbar nicht (zusätzlich) zu mehr Genauigkeit bei. Trotz Kombination aus manuellen und automatischen Hinweisen in der teilautomatischen Bedingung unterscheidet sich die Gesamtanzahl aller Hinweise nicht über beide Bedingungen: Die Anzahl aller in der manuellen Bedingung getätigten (manuellen) Hinweise beträgt $M = 68.90$ ($SD = 43.25$). Die Anzahl aller in der teilautomatischen Bedingung getätigten (manuellen und

automatischen) Hinweise beträgt $M = 85.72$ ($SD = 90.23$, $t = -1.066$, $p = .290$) und, korrigiert nach Elimination zweier Ausreißer mit jeweils 230 bzw. 526 automatisch ausgelösten Hinweisen, $M = 68.95$ ($SD = 37.03$, $t = -.005$, $p = .996$, *zweiseitig*).

Es wurde vermutet, dass die Art von Hinweisen bzw. das Verhältnis aus manuellen und automatischen Hinweisen einen Zusammenhang mit den Fehlern im Tracking aufweist. Dann sollte die teilautomatische Prozessführung entsprechend mit weniger *manuell* ausgelösten Hinweisen einhergehen. Dies zeigt sich auch in einem t-Test: Die Anzahl an manuellen Hinweisen ist höher in der manuellen Bedingung ($M = 68.90$, $SD = 43.25$) im Vergleich zur teilautomatischen Bedingung ($M = 46.53$, $SD = 24.68$, $t = 2.850$, $p = .006$, *zweiseitig*; nach Elimination oben genannter Ausreißer: $M = 47.51$, $t = 2.703$, $p = .009$, *zweiseitig*). Allerdings erklärt die reduzierte Anzahl manueller Hinweise bzw. die diesbezügliche Kompensation durch Hinzunahme von mehr automatischen Hinweisen allein nicht die Verbesserung der Genauigkeit: Die (verringerte) Anzahl an manuellen Hinweisen geht nicht mit einer erhöhten Genauigkeit in der teilautomatischen gegenüber der manuellen Bedingung einher ($r = .079$, $p = .244$, *zweiseitig*). Von dem Verhältnis aus manuellen und automatischen Hinweisen bzw. von dem Zuwachs an automatischen Hinweisen in der teilautomatischen Bedingung lässt sich somit nicht auf die Genauigkeit schließen.

Betrachtet man wiederum die *Art* manuell getätigter Hinweise, so lässt sich ein Erklärungshinweis für die Genauigkeit finden: Die ohnehin eher geringe Anzahl der manuellen (visuellen und auditiven) *Geschwindigkeitshinweise* verändert sich (trotz der verringerten Anzahl an manuellen Hinweisen in der teilautomatischen Bedingung) über beide Bedingungen nicht ($M = 7.86$ ($SD = 8.06$) manuelle Geschwindigkeitshinweise in der manuellen vs. $M = 7.41$ ($SD = 7.44$) in der teilautomatischen Bedingung; $t = 0.263$, $p = .794$, *zweiseitig*). Die Anzahl der manuellen (visuellen und auditiven) *Richtungshinweise* dagegen verringert sich in der teilautomatischen Bedingung signifikant von $M = 19.07$ ($SD = 23.06$) auf $M = 8.67$ ($SD = 9.30$) Hinweise ($t = 2.650$, $p = .011$, *zweiseitig*).

Zudem zeigt sich, dass die Anzahl *manueller und automatischer Richtungshinweise* in der teilautomatischen Bedingung ebenfalls abnimmt von $M = 19.07$ ($SD = 23.06$) zu $M = 11.00$ ($SD = 9.70$; $t = 2.036$, $p = .047$, *zweiseitig*, nach Elimination oben genannter Ausreißer in der teilautomatischen Bedingung zu $N = 39$).

Demgegenüber bleibt die Anzahl aller *manuell und automatisch ausgelösten Warnungen* über beide Bedingungen gleich ($M = 36.58$ ($SD = 19.52$) Warnungen in der

manuellen und $M = 37.41$ ($SD = 17.40$) in der teilautomatischen Bedingung; $t = -0.204$, $p = .838$, *zweiseitig*). Auch die Kombination an Richtungs- und Warnungshinweisen verändert sich nicht mit der Bedingung von manueller ($M = 55.62$, $SD = 35.05$) zu teilautomatischer Bedingung ($M = 48.96$, $SD = 21.42$, $t = 1.038$, $p = .302$, *zweiseitig*).

Die verringerte Anzahl an manuellen Richtungshinweisen ($r = .076$, $p = .250$, *zweiseitig*) bzw. manuellen und automatischen Richtungshinweisen ($r = .030$, $p = .396$, *zweiseitig*) erklärt jedoch nicht die verbesserte Genauigkeit in der teilautomatischen Bedingung. Offensichtlich muss die *Art* bzw. die *Kombination bestimmter Arten von automatischen Hinweisen* und/oder die *Art der Nutzung* von automatischen Hinweisen ausschlaggebend gewesen sein. Ebenso könnte auch das *regelmäßige Wirken* von Automatikfunktionen zu mehr Genauigkeit bzw. weniger Trackingfehlern beigetragen haben und so den globalen Effekt erklären. Der Effekt der teilautomatischen Bedingung auf die Genauigkeit liegt dann *innerhalb* der teilautomatischen Bedingung begründet. Ergebnisse solcher Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung werden im Anschluss an die globalen Analysen in Kapitel 8.4 dargestellt.

8.3.3 Anstrengung der Navigatoren

In einem weiteren Regressionsmodell wurde die (aktuelle) Anstrengung der Navigatoren, gemessen mithilfe der RSE_A (Zijlstra & van Doorn, 1985), als Kriterium betrachtet. Die Werte wurden als Teamwert über beide Navigatoren sowie über die Fahrten 9 bis 11 gemittelt. Mit Hypothese 3.0 (Kapitel 6.2) wurde angenommen, dass sich die Anstrengung der Navigatoren in der teilautomatischen gegenüber der manuellen Bedingung verringert. Tabelle 5a zeigt die Interkorrelationen der Variablen. Die Ergebnisse der multiplen linearen Regression sind in Tabelle 5b dargestellt.

Tabelle 5a. Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Anstrengung der Navigatoren)

	Anstrengung der Navigatoren	Art Prozessüberwachung und -führung	Vorherige Anstrengung der Navigatoren	Anzahl Hinweise des Operators
Art Prozessüberwachung und -führung	-.060			
Vorherige Anstrengung Navigatoren	.714*	-.004		
Anzahl Hinweise des Operators	.053	.099	.179	
Anzahl Eingriffe des Operators	.182	-.093	.081	.108

* $p \leq .001$, *einseitig*

Tabelle 5b. Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Anstrengung der Navigatoren

	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β	<i>Nullter Ordnung</i>	<i>Teil</i>	<i>p (eins.)</i>
Modell 1						
Konstante	45,91	9,83				
Art Prozessüberwachung und -führung	-1,16	2,17	.060	-.060	-.060	.297
Modell 2						
Konstante	18,50	7,55				
Art Prozessüberwachung und -führung	-1,11	1,53	-.057	-.060	-.057	.235
Vorherige Anstrengung Navigatoren	,76	,08	.714	.714	.714	.000
Modell 3						
Konstante	18,13	7,57				
Art Prozessüberwachung und -führung	-,97	1,54	-.050	-.060	-.050	.265
Vorherige Anstrengung Navigatoren	,77	,09	.727	.714	.715	.000
Anzahl Hinweise des Operateurs	-,01	,01	-.073	.053	-.071	.186
Modell 4						
Konstante	16,75	7,54				
Art Prozessüberwachung und -führung	-,71	1,53	-.037	-.060	-.036	.322
Vorherige Anstrengung Navigatoren	,76	,09	.719	.714	.706	.000
Anzahl Hinweise des Operateurs	-,01	,01	-.087	.053	-.084	.193
Anzahl Eingriffe des Operateurs	,09	,06	.130	.182	.128	.053

$R^2 = .004$ für Modell 1 ($p = .297$); $\Delta R^2 = .510$ für Modell 2 ($p = .000$); $\Delta R^2 = .005$ für Modell 3 ($p = .186$); $\Delta R^2 = .016$ für Modell 4 ($p = .053$), *einseitig*

Entgegen der Annahme, dass die teilautomatische Prozessführung mit einer verringerten Anstrengung der Navigatoren einhergeht (Hypothese 3.0), zeigte sich kein Zusammenhang der Art der Prozessüberwachung und -führung mit der Anstrengung der Navigatoren ($r_{\text{Teil}} = -.06$, $p = .297$, *einseitig*). Die Anstrengung der Navigatoren nimmt mit der teilautomatischen Prozessüberwachung und -führung nicht zu (und auch nicht ab). Hypothese 3.0 wird somit nicht gestützt. Die vorherige (nach Fahrt 8 erhobene) Anstrengung der Navigatoren weist dagegen einen starken, signifikanten Zusammenhang mit der Anstrengung in den drei Hauptfahrten 9 bis 11 auf. Die entsprechende Teilkorrelation von $r_{\text{Teil}} = .714$ ($p = .000$, *einseitig*) ist über alle Modellstufen annähernd stabil. Eine hohe Anstrengung der Navigatoren in der vorherigen Fahrt (bzw. den vorherigen Fahrten) geht somit auch mit hoher Anstrengung in den Hauptfahrten einher. Dabei verdeutlichen post-hoc berechnete Mittelwerte über die Gesamtstichprobe, wie die Anstrengung der Navigatoren von Fahrt 7 ($M = 34.43$, $SD = 9.03$) über Fahrt 8 ($M = 35.86$, $SD = 9.16$) bis hin zu den messrelevanten Fahrten 9 bis 11 ($M = 40.67$, $SD = 9.72$) ansteigt. Die Anzahl an Hinweisen und Eingriffen steht dagegen in keinem Zusammenhang mit der Anstrengung der Navigatoren. Wie im Zusammenhang mit der Genauigkeit weisen sowohl Teilkorrelationen als auch die Korrelationen nullter Ordnung nur schwache Effektstärken auf.

8.3.4 Workload

Neben der Anstrengung der Navigatoren interessieren auch leistungsrelevante Zustände des Operators selbst. Nach Hypothese 4.0 (Kapitel 6.2) sollte sich der Workload des Operators in der teilautomatischen gegenüber der manuellen Bedingung verringern. Die Interkorrelationen sind in Tabelle 6a, die Ergebnisse der multiplen linearen Regression zum Workload-Index (Kapitel 7.4.4) des Operators sind in Tabelle 6b dargestellt.

Tabelle 6a. Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Workload (Index))

	Workload (Index)	Art Prozessüberwachung und -führung	Vorherige Anstrengung der Navigatoren	Anzahl Hinweise des Operators
Art Prozessüberwachung und -führung	.000			
Vorherige Anstrengung Navigatoren	.163	-.004		
Anzahl Hinweise des Operators	.031	.119	.181	
Anzahl Eingriffe des Operators	-.235*	-.093	.081	.106

* $p \leq .05$, einseitig

Tabelle 6b. Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Workload (Index)

	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β	<i>Nullter Ordnung</i>	<i>Teil</i>	<i>p (eins.)</i>
Modell 1						
Konstante	.000	.667				
Art Prozessüberwachung und -führung	.000	.147	.000	.000	.000	.500
Modell 2						
Konstante	-.424	.724				
Art Prozessüberwachung und -führung	.001	.146	.001	.000	.001	.498
Vorherige Anstrengung Navigatoren	.012	.008	.163	.163	.163	.074
Modell 3						
Konstante	-.423	.730				
Art Prozessüberwachung und -führung	.001	.148	.000	.000	.000	.499
Vorherige Anstrengung Navigatoren	.012	.008	.163	.160	.160	.080
Anzahl Hinweise des Operators	.000	.001	.001	.001	.001	.496
Modell 4						
Konstante	-.235	.715				
Art Prozessüberwachung und -führung	-.035	.145	-.027	.000	-.026	.406
Vorherige Anstrengung Navigatoren	.013	.008	.178	.163	.175	.057
Anzahl Hinweise des Operators	.000	.001	.029	.031	.028	.400
Anzahl Eingriffe des Operators	-.012	.005	-.255	-.235	-.251	.012

$R^2 = .000$ für Modell 1 ($p = .500$); $\Delta R^2 = .027$ für Modell 2 ($p = .074$); $\Delta R^2 = .00$ für Modell 3 ($p = .496$); $\Delta R^2 = .063$ für Modell 4 ($p = .012$), einseitig

Die Teilkorrelation des zentralen Prädiktors mit dem Workload-Index zeigt deutlich, dass kein Zusammenhang zwischen der Art der Prozessführung und dem Workload des Operators besteht ($r_{\text{Teil}} = .000$, $p = .500$, einseitig). Der Workload des Operators wird somit in der teilautomatischen Bedingung nicht erhöht (jedoch auch

nicht verringert, so dass Hypothese 4.0 nicht anzunehmen ist). Die vorherige Anstrengung der Navigatoren und die Anzahl an Hinweisen können keine inkrementelle Varianz aufklären. Für die Anzahl an Eingriffen dagegen zeigt sich eine signifikante Teilkorrelation von $r_{\text{Teil}} = -.251$ ($p = .012$, *einseitig*). Unabhängig von der Art der Prozessführung geht mit einer erhöhten Anzahl an Eingriffen ein geringerer Workload einher.

8.3.5 Situationsbewusstsein

Neben dem Workload des Operators wurde ebenso der Zusammenhang der Art der Prozessüberwachung und -führung mit dem Situationsbewusstsein des Operators überprüft. Mit Hypothese 5.0 (Kapitel 6.2) wurde postuliert, dass sich das Situationsbewusstsein in der teilautomatischen Bedingung erhöht. Interkorrelationen werden in Tabelle 7a dargestellt. Ergebnisse zur Vorhersage des Situationsbewusstsein-Index (Kapitel 7.4.5) finden sich in Tabelle 7b.

Die Art der Prozessführung steht in keinem Zusammenhang mit dem Situationsbewusstsein, gemessen als Situationsbewusstsein-Index ($r_{\text{Teil}} = -.011$, $p = .462$, *einseitig*). Operateure, die auf eine automatische Unterstützung zurückgreifen konnten, zeigen somit keine Einbußen im Situationsbewusstsein. Ein Anstieg des Situationsbewusstseins ist ebenso wenig eingetreten, weshalb Hypothese 5.0 nicht angenommen wird. Die Anstrengung der Navigatoren weist einen schwachen, jedoch nicht signifikanten Zusammenhang mit dem Situationsbewusstsein von Operateuren auf. Die Anzahl an Hinweisen und Eingriffen der Operateure steht nicht im Zusammenhang mit deren Situationsbewusstsein.

Tabelle 7a. Interkorrelationen von Prädiktoren (Art der Prozessführung, vorherige Anstrengung der Navigatoren, Anzahl von Hinweisen, Anzahl von Eingriffen) und Kriterium (Situationsbewusstsein (Index))

	Situations- bewusstsein (Index)	Art Prozessüberwachung und -führung	Vorherige Anstrengung der Navigatoren	Anzahl Hinweise des Operators
Art Prozessüberwachung und -führung	-.011			
Vorherige Anstrengung Navigatoren	-.163	-.004		
Anzahl Hinweise des Operators	-.045	.119	.181	
Anzahl Eingriffe des Operators	.069	-.093	.081	.106

Anm.: Keine der Korrelationen ist einseitig signifikant mit $p \leq .05$

Tabelle 7b. Multiple Regressionskoeffizienten; Kriterium: Situationsbewusstsein (Index)

	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β	<i>Nullter Ordnung</i>	<i>Teil</i>	<i>p (eins.)</i>
Modell 1						
Konstante	,047	,556				
Art Prozessüberwachung und -führung	-,012	,123	-,011	-,011	-,011	.462
Modell 2						
Konstante	,401	,603				
Art Prozessüberwachung und -führung	-,012	,122	-,011	-,011	-,011	.460
Vorherige Anstrengung Navigatoren	-,010	,007	-,163	-,163	-,163	.074
Modell 3						
Konstante	,395	,608				
Art Prozessüberwachung und -führung	-,011	,123	-,010	-,011	-,010	.466
Vorherige Anstrengung Navigatoren	-,010	,007	-,161	-,163	-,158	.082
Anzahl Hinweise des Operators	,000	,001	-,014	-,045	-,014	.451
Modell 4						
Konstante	,343	,614				
Art Prozessüberwachung und -führung	-,001	,124	-,001	-,011	-,001	.498
Vorherige Anstrengung Navigatoren	-,010	,007	-,166	-,163	-,163	.077
Anzahl Hinweise des Operators	,000	,001	-,024	-,045	-,023	.420
Anzahl Eingriffe des Operators	,003	,005	,085	,069	,084	.230
R ² = .000 für Modell 1 (<i>p</i> = .462); ΔR^2 = .027 für Modell 2 (<i>p</i> = .074); ΔR^2 = .000 für Modell 3 (<i>p</i> = .451); ΔR^2 = .007 für Modell 4 (<i>p</i> = .230), <i>einseitig</i>						

8.3.6 Fazit zu Ergebnissen der globalen Analysen

Die Ergebnisse des globalen Vergleichs zeigen, dass eine teilautomatische Prozessführung von Operateuren mit einer (stark) verbesserten Genauigkeit bei gleichbleibender Geschwindigkeit und Anstrengung der Navigatoren einhergeht. Weiterhin weist die Art der Prozessführung keinen Zusammenhang mit leistungsrelevanten Zuständen des Operators wie seinem Workload und seinem Situationsbewusstsein auf. In anderen Worten: Workload und Situationsbewusstsein des Operators sind jeweils in beiden Bedingungen gleich stark ausgeprägt bzw. verändern sich bei Operateuren, welche die automatische Unterstützung nutzen, nicht. Alle Befunde werden im Diskussionsteil dieser Arbeit nochmals aufgegriffen (Kapitel 9). Wie der Effekt einer verbesserten Genauigkeit des Trackings zu erklären ist, konnten angeschlossene Post-hoc-Tests der globalen Analysen zur Anzahl von Hinweisen nicht zeigen. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass eine erhöhte Genauigkeit insbesondere auf die Art der Nutzung automatischer Funktionen zurückzuführen ist. Dieser Annahme wird zunächst im folgenden Abschnitt (Kapitel 8.4) mit weiteren Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung nachgegangen.

8.4 Ergebnisse der Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung

Innerhalb der teilautomatischen Bedingung lässt sich prüfen, ob sich global ermittelte Effekte auf Unterschiede im Nutzungsverhalten der Operateure in Bezug auf die Automatikfunktionen zurückführen lassen (Kapitel 6). Dabei wird zunächst insbesondere dem Effekt signifikant verringerter Trackingfehler nachgegangen: Die erhöhte Genauigkeit in der teilautomatischen verglichen mit der manuellen Bedingung kann möglicherweise auf Unterschiede in der Nutzung der automatischen Unterstützung durch die Operateure zurückgeführt werden. In Bezug auf diesen Effekt werden zunächst Art und Kombination eingesetzter Automatikfunktionen (Kapitel 8.4.1) analysiert. Anschließend werden in Kapitel 8.4.2 Zusammenhänge zur Art der Nutzung von Automatikfunktionen explorativ in Bezug auf die Kriterien Zeit, Fehler, Anstrengung der Navigatoren sowie Workload und Situationsbewusstsein des Operateurs (Hypothese 6.0 bis 6.4) betrachtet. Das Kapitel schließt mit einem Fazit (Kapitel 8.4.3).

8.4.1 Zusammenhänge zwischen Art und Kombination von Automatikfunktionen und Fehlern im Tracking

Die deskriptive Analyse zur Nutzung von Automatikfunktionen (Kapitel 8.2) zeigt, dass insgesamt 37 der 41 Operateure Automatikfunktionen überhaupt nutzen (4 Operateure geben auch in der teilautomatischen Bedingung ausschließlich manuelle Hinweise). Die automatischen Hinderniswarnungen und Gabelungswarnungen werden am häufigsten genutzt (jeweils von 32 und 27 Operateuren; Kapitel 8.2.1). Beide Automatikfunktionen zielen auf die Minimierung von Fehlern ab, insbesondere die automatische und damit regelhafte Gabelungswarnung wird den Navigatoren zuverlässig und rechtzeitig eine Gabelungssituation ankündigen und somit zu einem konzentrierten Bewältigen dieser Situation beitragen. Die Anzahl an automatischen Warnungshinweisen innerhalb der teilautomatischen Bedingung stand jedoch nicht im Zusammenhang mit der Genauigkeit ($r = -.066$, $p = .684$, *zweiseitig*). Ein zusätzlicher U-Test (Mann-Whitney) zeigte zudem keine Unterschiede in der Genauigkeit (Fehler in Mio. px) zwischen den 34 Operateuren, welche die automatischen Warnungen (mindestens einmal über Fahrten 9 bis 11) nutzten ($M = 3.67$ Mio px., $SD = 0.51$) und den 7 Operateuren, welche keine dieser automatischen Warnungen genutzt hatten ($M =$

3.81 Mio. px., $SD = 0.32$, $p = .448$, *zweiseitig*). Die Nutzung automatischer Hindernis- und Gabelungshinweise erfolgte zudem meist (durch 25 Operateure mindestens einmal über Fahrten 9 bis 11) in Kombination (Kapitel 8.2.3). Von 10 der 25 Operateure wurden mit diesen automatischen Warnungen zusätzlich auch noch die visuellen Richtungshinweise kombiniert. Die Art dieser vier Automatikfunktionen ist auf Genauigkeit ausgerichtet.

Allerdings konnte die Art bzw. Kombination der Automatikfunktionen die erhöhte Genauigkeit nicht erklären: Ein U-Test (Mann-Whitney) wies keine signifikant verringerten Trackingfehler ($M = 3.62$ Mio. px, $SD = 0.49$) für die Gruppe der 25 Operateure aus, welche die automatischen Warnungen kombinierten, im Vergleich zu den restlichen 16 Operateuren ($M = 3.80$ Mio. px, $SD = 0.46$, $p = .342$, *zweiseitig*). Auch die Kombination von automatischen Warnungen und visuellen Richtungshinweisen konnte den Effekt nicht erklären: Die 10 Operateure, welche diese Automatikfunktionen mindestens einmal über die Fahrten 9 bis 11 kombinierten, trugen nicht zu weniger Fehlern ($M = 3.77$ Mio. px, $SD = 0.31$) bei als die Gruppe der restlichen Operateure ($M = 3.67$ Mio. px., $SD = 0.52$, $p = .690$, *zweiseitig*). Die Art oder Kombination genutzter Automatikfunktionen reichen somit nicht zur Erklärung der in der teilautomatischen Bedingung erhöhten Genauigkeit aus. Im folgenden Abschnitt wird daher auf die *Art der Nutzung von Automatikfunktionen* eingegangen.

8.4.2 Zusammenhänge zwischen Art der Nutzung von Automatikfunktionen und Fehlern im Tracking

Die Art, wie Automatikfunktionen genutzt wurden, könnte eine alternative Erklärung der erhöhten Genauigkeit in der teilautomatischen Bedingung liefern: Wie in Kapitel 8.2.4 gezeigt, lassen sich die 37 Operateure, welche überhaupt Automatikfunktionen nutzen, danach unterscheiden, ob sie Automatikfunktionen ausschließlich zeitlich stabil nutzen, das heißt einmal initiieren (nicht mehr ausschalten) oder ob sie mindestens eine der Automatikfunktionen häufig initiieren (mehrfach ein- und ausschalten). Für die beiden Gruppen von $N = 17$ Einfach-Initiatoren und $N = 20$ Mehrfach-Initiatoren soll ausgehend von den Hypothesen H 6.0 bis 6.4 explorativ geprüft werden, ob die jeweilige Art der Nutzung von Automatikfunktionen im Zusammenhang mit der Leistung (Zeit und Fehler) des Operateurs, mit der Anstrengung der Navigatoren sowie mit leistungsrelevanten Zuständen des Operateurs (Workload

und Situationsbewusstsein) steht. Die Ermittlung dieser Zusammenhänge erfolgt mithilfe der Berechnung von Korrelationen nullter Ordnung, welche in Tabelle 8 aufgeführt sind.

Tabelle 8. Interkorrelationen zwischen Initiation der Automation und Leistung, Anstrengung der Navigatoren, Workload sowie Situationsbewusstsein des Operators. (Initiation der Automation kodiert mit 1 = mehrfach; 2 = einfach).

	Trackingzeit	Trackingfehler	Anstrengung der Navigatoren	Workload (Index)	Situationsbewusstsein (Index)
Initiation der Automation	.357*	-.324*	-.153	-.092	-.251

* $p \leq .05$, zweiseitig

Wie erwartet weist die Art der Nutzung der Automatikfunktionen (mehrmaliges vs. einmaliges Initiieren vs. mehrmaliges Initiieren) einen Zusammenhang mit der Leistung (Zeit und Fehler) auf. Hypothesen 6.0 und 6.1 können somit bestätigt werden. Mit einer stabilen Nutzung der Automatikfunktionen erhöht (verschlechtert) sich die Trackingzeit der Navigatoren ($r = .357$, $p = .030$, zweiseitig). Demgegenüber verringern sich die Trackingfehler ($r = -.324$, $p = .005$, zweiseitig). Mit den anderen Kriterien des globalen Vergleichs weist die Art, wie die Automatikfunktionen genutzt werden, keinen signifikanten Zusammenhang auf, so dass Hypothesen 6.2 bis 6.4 abgelehnt werden müssen. Operateure, welche Automatikfunktionen stabil nutzen, das heißt nur einmal aktivieren und nicht mehr deaktivieren, tragen somit zu einer erhöhten Genauigkeit bei. Dieses Ergebnis kann auch zur Erklärung der global verbesserten Genauigkeit in der teilautomatischen gegenüber der rein manuellen experimentellen Bedingung herangezogen werden. In Abbildung 15 wurde bereits veranschaulicht, welche automatischen Hinweise mehrfach initiiert wurden. Insbesondere die automatischen visuellen Hinweise „Schneller fahren“ sowie „Links fahren“ und „Rechts fahren“ wurden jeweils am häufigsten über die 20 Operateure („Mehrfach-Initiatoren“) genutzt. Die automatischen auditiven Richtungshinweise und der automatische auditive Hinweis „Langsamer fahren“ wurde dagegen von keinem der „Mehrfach-Interagierer“ genutzt. Auch mit den (ja insgesamt am häufigsten genutzten) automatischen Hinderniswarnungen wurde nur in sechs Fällen interagiert, mit den Gabelungshinweisen sogar nur in zwei Fällen. Die Warnungen werden also zumeist relativ stabil über alle Operateure (Nutzer) eingesetzt. Somit führt genau die Kombination aus stabil eingesetzten automatischen Warnungen und häufig initiierten visuellen Richtungshinweisen und dem automatischen Hinweis „Schneller fahren“ zu erhöhter

Genauigkeit (aber auch mehr Zeit). Die Ergebnisse der Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung werden in einem Fazit (Kapitel 8.4.3) nochmals zusammengefasst und im Diskussionsteil näher analysiert.

8.4.3 Fazit zu Ergebnissen der Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung

Analysen innerhalb der teilautomatischen Bedingung wurden insbesondere zur näheren Erläuterung des global ermittelten Effekts einer erhöhten Genauigkeit durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass sich von der Art und Kombination genutzter Automatikfunktionen (vorwiegend Warnungen, teilweise in Kombination mit visuellen Richtungshinweisen) zwar inhaltlich, jedoch nicht statistisch auf die verringerten Fehler in der teilautomatischen Bedingung schließen lässt. Dagegen konnten explorativ signifikante Zusammenhänge zwischen der Art der Nutzung automatischer Hinweise und den Trackingfehlern (sowie der Trackingzeit) ermittelt werden. Dabei geht ein stabiles Nutzungsverhalten von Operateuren (Automatikfunktionen einmal initiieren und nicht wieder ausschalten) mit weniger Fehlern (und mehr Zeit) einher. Dieser Befund wird im Zuge der Zusammenfassung und Diskussion aller mit dieser Arbeit gewonnenen empirischen und theoretischen Erkenntnisse näher analysiert.

9. Diskussion

Den Auftakt des Diskussionsteils stellt zunächst die Beantwortung der beiden inhaltlichen Fragestellungen dar, welche in Kapitel 6 in Bezug auf das empirische Vorhaben der Arbeit formuliert wurden: Handelte es sich um eine *erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation*? Und: Wurde eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation *bereits in der Entwicklungsphase unterstützt*? Diese Fragen sollen dazu dienen, die in dieser Arbeit theoretisch abgeleitete und untersuchte Form der *alternierenden Kooperation* von Operateur und Automation zu bewerten. Zur Beantwortung insbesondere der erstgenannten Fragestellung werden zunächst die empirischen Ergebnisse mit Bezug zu den Forschungshypothesen interpretiert. Dabei wird jeweils direkt auch auf methodische Probleme eingegangen (Kapitel 9.1). Auf Basis der empirischen Ergebnisse wird sodann der Entwicklungsprozess der zugrunde liegenden Automatikfunktionen näher beleuchtet (Kapitel 9.2). Anschließend wird im Hinblick auf die Zielstellung (Kapitel 4) der empirische und theoretische Beitrag dieser Arbeit bewertet (Kapitel 9.3). Dabei wird auch die Bewährung des ATEO Lab Systems diskutiert. Das Kapitel und die Arbeit schließen mit einem Ausblick, in welchem Anregungen für zukünftige, praxisrelevante Forschungsansätze gegeben werden (Kapitel 9.4).

9.1 Handelte es sich um eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation? – Zusammenfassung und Diskussion der empirischen Ergebnisse zum Effekt der automatischen Unterstützung auf die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren

Das Ziel der empirischen Untersuchung bestand darin, den Zusammenhang einer spezifischen Form der Kooperation von Operateur und Automation mit der Leistung und leistungsrelevanten Zuständen des Operateurs sowie mit der Anstrengung der Navigatoren auf Basis des ATEO Lab Systems zu untersuchen. Im Zuge eines zuvor propagierten iterativen Vorgehens bei der Untersuchung solcher Kooperationsformen (Kapitel 5.5.3) wurde dabei zunächst der einfachste Fall einer solchen Kooperation von Operateur und Automation untersucht. Eine derartige Kooperationsform lässt sich als *passiv-alternierende* Kooperation beschreiben, da der Operateur zu jeder Zeit die

Autorität hat (passiv), die Kontrolle einer spezifischen Funktion vollständig an die statische Automation (alternierend) zu delegieren. Diese Form der Zusammenarbeit des Operators bei der Prozessüberwachung und -führung im ATEO Lab System (teilautomatische Bedingung) wurde mit einer Bedingung verglichen, in welcher Operateure bei der Prozessüberwachung und -führung nicht auf eine automatische Unterstützung zurückgreifen konnten (manuelle Bedingung). Mithilfe dieses empirischen Vergleichs sollte die Forschungsfrage (2) beantwortet werden, ob es sich um eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation handelt.

In der teilautomatischen Bedingung konnten Operateure optional auf die automatische Unterstützung zurückgreifen. Die automatische Unterstützung lässt sich dabei als Menge aus 10 Automatikfunktionen beschreiben, die sich auf 10 (von insgesamt 15) unterschiedliche visuelle und auditive Hinweise bezieht, welche der Operateur im ATEO Master Display aktivieren kann. Es wurde erwartet, dass Operateure in der teilautomatischen Bedingung eine bessere Leistung (Reduktion von Trackingfehlern und -zeit der Navigatoren) im Vergleich zu Operateuren zeigen, die eine rein manuelle Prozessüberwachung und -führung absolvieren (Hypothese 2.0a und 2.0b). Ebenso sollte die Anstrengung der Navigatoren in der teilautomatischen Bedingung, verglichen mit der manuellen Bedingung, verringert werden (Hypothese 3.0). Außerdem sollte der Workload des Operators selbst in der teilautomatischen vs. der manuellen Bedingung nicht erhöht (Hypothese 4.0) sowie dessen Situationsbewusstsein (Hypothese 5.0) nicht verringert werden. Weiterhin wurde angenommen, dass die Art der Nutzung der automatischen Unterstützung innerhalb der teilautomatischen Bedingung im Zusammenhang mit den global betrachteten Kriterien steht (Hypothese 6.0 bis 6.4). Voraussetzung für die Überprüfung dieser Hypothesen war die tatsächliche Nutzung der automatischen Unterstützung durch die Mehrzahl der Operateure (Hypothese 1.0). Diese Hypothese 1.0 konnte bestätigt und die Fragestellung (1), ob Operateure die automatische Unterstützung nutzen, bejaht werden. Auf einer derartigen Basis konnten globale Analysen zum Zusammenhang der Art der Prozessführung (manuell vs. teilautomatisch) mit der Leistung und leistungsrelevanten Zuständen des Operators sowie mit der Anstrengung der Navigatoren durchgeführt werden. Die Ergebnisse der globalen Analyse werden, gegliedert nach den Hypothesen zur Leistung (Kapitel 9.1.1), zur Anstrengung der Navigatoren (Kapitel 9.1.2) sowie zu den Zuständen des Operators (Kapitel 9.1.3), einzeln diskutiert. Die konkrete Beantwortung erfolgt in einem Fazit (Kapitel 9.1.4).

9.1.1 Hypothesen zur Leistung des Operators (H 2.0a und 2.0b)

Hinsichtlich der Leistung ergaben die globalen Analysen, dass Operateure, welche bei der Prozessüberwachung und -führung (optional) auf eine automatische Unterstützung zurückgreifen konnten, die *Trackingzeit* nicht reduzierten und somit nicht optimierten. Ein Zusammenhang zwischen der Art der Prozessüberwachung und -führung (manuell vs. teilautomatisch) und der Trackingzeit konnte nicht ausgewiesen werden. Hypothese 2.0a muss daher abgelehnt werden. Jedoch waren Operateure in der teilautomatischen Bedingung in der Lage, die Fehler des Trackings signifikant zu reduzieren, was Hypothese 2.0b bestätigt. Die Effektstärke dieses Zusammenhangs war dabei beträchtlich und stabil über alle Stufen des Regressionsmodell mit $r_{\text{Teil}} = -.65$ ($p < .001$). Operateure, die auf eine automatische Unterstützung zurückgreifen können, sorgen somit für eine starke Verbesserung der Genauigkeit des Trackings, welche zudem nicht auf Kosten der Zeit geschieht. Die erhöhte Genauigkeit gegenüber der rein manuellen Prozessüberwachung und -führung muss somit tatsächlich auf die Nutzung der Automatikfunktionen durch die Operateure zurückzuführen sein. Dies weist darauf hin, dass die Kooperation – zumindest in globaler Hinsicht – als erfolgreich bezeichnet werden kann.

Post-hoc-Analysen in Bezug auf die *Art der manuellen Hinweise des Operators* über beide Bedingungen zeigten, dass sich mit der Gesamtanzahl an manuellen Hinweisen interessanterweise auch die Anzahl der manuellen *Richtungshinweise* (dagegen nicht die der manuellen *Geschwindigkeitshinweise*) in der teilautomatischen Bedingung verringert. Die verringerte Anzahl manueller Richtungshinweise wurde dabei von Operateuren nicht durch eine entsprechend erhöhte Anzahl an automatischen Richtungshinweisen kompensiert: Auch bei Betrachtung aller (manuellen und automatischen) Richtungshinweise verringerte sich deren Anzahl in der teilautomatischen Bedingung. Im Vergleich dazu blieb die Anzahl (manueller und automatischer) Warnungshinweise jedoch über beide Bedingungen stabil. Auch bei gemeinsamer Betrachtung von *allen (manuell und automatischen) Warnungs- und Richtungshinweisen* veränderte sich deren Anzahl nicht über die beiden Bedingungen.

Die verringerte Anzahl der ja auf Genauigkeit ausgerichteten (manuellen und automatischen) Richtungshinweise in der teilautomatischen Bedingung scheint zunächst im Widerspruch zu dem ermittelten globalen Effekt einer stark erhöhten Genauigkeit zu stehen. Gleichzeitig ließ dies jedoch bereits den Schluss zu, dass die erhöhte Genauigkeit möglicherweise insbesondere auf andere *Arten* bzw. *Kombinationen von*

Automatikfunktionen und/oder die Wirkweise der genutzten Automatikfunktionen zurückzuführen ist: Wenn in der manuellen Bedingung mehr (auf Genauigkeit ausgerichtete) Richtungshinweise getätigt wurden, die Anzahl an Fehlern jedoch in der teilautomatischen Bedingung sehr viel geringer ausfiel, mussten in dieser teilautomatischen Bedingung insbesondere solche Arten oder Kombinationen von Automatikfunktionen genutzt worden sein, die ebenfalls auf Genauigkeit ausgerichtet waren (und somit den Verlust an auf Genauigkeit ausgerichteten Richtungshinweisen kompensierten). Alternativ oder zusätzlich könnte die Regelmäßigkeit der automatisch ausgelösten Hinweise (verglichen mit den vielleicht weniger exakt gegebenen manuellen Hinweisen) den Genauigkeitsvorteil in der teilautomatischen Bedingung erbracht haben.

Mit Analysen zur Nutzung der automatischen Unterstützung innerhalb der teilautomatischen Bedingung konnte die Annahme zum Effekt von Art und Wirkweise der Automatikfunktionen gestützt werden: Denn Analysen zur Nutzung der Automatikfunktionen in der teilautomatischen Bedingung ergeben, dass von allen Automatikfunktionen insbesondere solche automatischen Hinweise eingesetzt werden, die eher fehler-, als zeitreduzierend wirken, nämlich Hindernis- und Gabelungswarnungen sowie die automatischen visuellen Richtungshinweise (Automatische Geschwindigkeitshinweise werden dagegen insgesamt eher seltener eingesetzt). Die automatischen Warnungen werden dabei überwiegend in Kombination sowie zum Teil zusätzlich kombiniert mit visuellen Richtungshinweisen eingesetzt. Der zugrunde liegende Algorithmus der automatischen Richtungshinweise löst diese ausschließlich vor Gabelungen aus. (In anderen Situationen wurde das Auslösen von Richtungshinweisen durch die Entwickler nicht als sinnvoll erachtet). So kann die Kombination aus automatischen Warnungen und automatischen visuellen Richtungshinweisen insbesondere in Gabelungssituationen als höchst genauigkeitsförderlich betrachtet werden. Denn durch frühes Hinweisen auf die Gabelung sowie frühzeitige Angaben zur Wahl einer Abzweigung können Abweichungsfehler minimiert werden. Allerdings konnte die Fehlerreduktion statistisch nicht auf die Art bzw. Kombination der Automatikfunktionen zurückgeführt werden. Art und Kombination von Automatikfunktionen allein reichen somit noch nicht für die Erklärung der erhöhten Genauigkeit aus.

Dagegen fanden sich Effekte der *Art der Nutzung*: Operateure lassen sich danach einteilen, ob sie (mindestens eine der) Automatikfunktionen mehrfach initiieren oder

die Automatikfunktionen grundsätzlich zeitlich stabil einsetzen, das heißt, diese (meist direkt mit Beginn der Fahrt) endgültig an die Automation delegieren und nicht wieder selbst übernehmen. Gerade diese Stabilität der Nutzung bzw. die endgültige Delegation der Funktion an die Automation unterstützt die Annahme, dass die Regelmäßigkeit im automatischen Auslösen von Hinweisen zu einer genauigkeitsförderlichen Wirkung beigetragen hat. Explorative Zusammenhangsanalysen weisen daraufhin, dass solche Operateure, welche die Automatikfunktionen stabil nutzen, zu weniger Trackingfehlern ($r = -.324, p = .005$, *zweiseitig*) jedoch gleichzeitig auch zu mehr Trackingzeit ($r = .357, p = .030$, *zweiseitig*) beitragen. Der Effekt einer längeren Trackingdauer wird jedoch nur innerhalb der teilautomatischen Bedingungen provoziert, denn global betrachtet bleibt die Zeit des Trackings über beide Bedingungen gleich. Dass global dagegen eine erhöhte Genauigkeit ausgewiesen werden kann, wird somit auf die Koppelung aus Auswahl und Kombination der Automatikfunktionen und Nutzungsverhalten zurückzuführen sein: Die Richtungshinweise nehmen sowohl bezogen auf manuelle als auch manuelle und automatische Hinweise ab, wenn Operateure auf die automatische Unterstützung zurückgreifen können. Somit scheint insbesondere die stabile Nutzung von Warnungen einen besonderen Beitrag für mehr Genauigkeit zu liefern. Die stabile Nutzung von Automatikfunktionen zeichnet sich über alle Operateure dadurch aus, dass Automatikfunktionen ausschließlich nur einmal initiiert und dann nicht mehr ausgeschaltet werden. Dabei erfolgt die erste und einzige Initiation der Automatikfunktionen zumeist direkt am Anfang einer Fahrt und wird somit nicht situationsbezogen getätigt. Übrige Hinweise wurden von den Operateuren, die in die Kategorie der Einfach-Initiatoren fallen, dann situationsabhängig manuell gegeben. Die Regelmäßigkeit im Auslösen von Hinweisen wird somit bei diesen Operateuren höher sein als bei Operateuren, welche Automatikfunktionen auch mehrfach initiieren oder bei Operateuren, die rein manuell agierten (die also nicht auf Automatikfunktion zugriffen bzw. zugreifen konnten). Die Strategie von Operateuren, *Automatikfunktionen überhaupt*, dabei *insbesondere Warnungen* und diese *stabil zu nutzen*, scheint hier somit zu der erhöhten Genauigkeit beigetragen zu haben. Im Vergleich zu Mehrfach-Interagierern geht diese Strategie zwar mit mehr Zeit einher, im Vergleich zu rein manuellen Nutzern besteht dieser Zeitnachteil jedoch nicht mehr. Die hier untersuchte Form der alternierenden Kooperation im ATEO Lab System kann insofern als positiv bewertet werden, als dass sie Operateuren eine Strategie (von vielen denkbaren Strategien) der Prozessüberwachung und -führung ermöglicht, die sich

leistungsförderlich auswirkt. In diesem Fall besteht die Leistungsförderlichkeit dabei in einer erhöhten Genauigkeit des Trackings (bei gleichbleibender Zeit).

Hinsichtlich des zweiten Leistungsaspekts, der Trackingzeit, scheint die Art der Nutzung der Automatikfunktionen, in diesem Fall die Mehrfach-Initiation der Automation, ebenfalls eine entscheidende Einflussgröße zu sein. In die Kategorie der Mehrfach-Initiatoren fallen Operateure, die sowohl stabiles als auch instabiles Nutzungsverhalten aufwiesen, das heißt die Automatikfunktionen sowohl stabil zu Beginn einer Fahrt aktivierten, als auch Automatikfunktionen situationsabhängig hinzu- oder abschalteten. Dieses Nutzungsverhalten ist nicht pauschal als leistungsunförderlich zu betrachten, zumal es mit ausgewiesenen positiven Effekten auf die Zeit einhergeht. Es stellt sich die Frage, ob das mehrfache Initiieren ausgewählter Automatikfunktionen nicht auch als differenziertes Nutzungsverhalten und somit ebenfalls als (ansatzweise) leistungsförderliche Strategie, diesmal eben mit der Ausrichtung auf die Zeitoptimierung, betrachtet werden kann. Allerdings wird der Zeitvorteil nur innerhalb der teilautomatischen Bedingung (bzw. nur im Vergleich zu den stabilen Nutzern der Automation) und dabei auf Kosten der Genauigkeit errungen. Im Vergleich zu den stabilen Nutzern geht das Mehrfach-Initiieren mit einer entsprechend sehr viel höheren Variabilität im Verhalten (Initiieren der Automation) einher, die wiederum viel Raum für unterschiedliche Strategien in Bezug auf dieses Initiieren von Automatikfunktionen lässt. Eine mögliche zugrunde liegende Systematik des Initiierens wurde bisher nicht untersucht und somit lassen sich zum aktuellen Zeitpunkt der Zeitgewinn sowie der Verlust an Genauigkeit nicht fundiert begründen. Idealerweise kann mithilfe von zeitreihenanalytischen Auswertungen ermittelt werden, ob situations- bzw. streckenabhängig bestimmte automatische Funktionen aktiviert und deaktiviert werden. Solche Verhaltensmuster können dann in Bezug zu den Kriterien Zeit und Fehler gesetzt werden. Diesem Ansatz wird im ATEO Projekt bereits intensiv nachgegangen. Dabei werden zeitreihenanalytische Auswertungen von Daten bisher vorwiegend zu parallelen Fragestellungen vorgenommen, beispielsweise zur Entwicklung künstlicher Agenten als Ersatz der Navigatoren (z.B. Burkhard et al., 2011; Kurbalija et al., 2012; Kurbalija, von Bernstorff, Nachtwei, Ivanovic & Burkhard, 2014).

Weiterhin relevant für die Leistung scheinen Eingriffe zu sein, wenn diese, verglichen mit den Hinweisfunktionen im ATEO Master Display, insgesamt auch sehr viel seltener genutzt werden: Es zeigt sich, dass Eingriffe insbesondere für langsames Fahren, das heißt für mehr Trackingzeit sorgen. Dies ist teilweise in der Natur der

Eingriffe begründet. So kann beispielsweise mithilfe eines Schiebereglers die Maximalgeschwindigkeit gedrosselt, jedoch nicht beschleunigt werden. Da Eingriffe von Operateuren mit einer Entschleunigung des Trackings einhergingen, wäre ein gleichzeitiger Effekt auf Genauigkeit im Sinne einer Kompensation denkbar gewesen. Eingriffe stehen jedoch in dieser Untersuchung in keinem Zusammenhang mit der Genauigkeit des Trackings. Gegenüber dem starken Haupteffekt der teilautomatischen Prozessüberwachung und -führung wird zwischen Eingriffen und Trackingfehlern lediglich ein schwacher Zusammenhang ermittelt. Dass dieser nicht rein methodisch begründet ist (der durch die experimentelle Bedingung aufgeklärte hohe Varianzanteil lässt den Kontrollvariablen keine Möglichkeit zur Aufklärung inkrementeller Varianz), kann anhand der Korrelationen nullter Ordnung sichergestellt werden: hier zeigt sich ebenfalls ein nur schwacher Zusammenhang. Die Anzahl an Eingriffsfunktionen im ATEO Master Display scheint somit eher eine spezifische Einflussgröße für die Zeit zu sein.

Von der reinen Anzahl genutzter Hinweise im ATEO Master Display kann dagegen nicht direkt auf eine Leistungsoptimierung hinsichtlich Zeit oder Genauigkeit geschlossen werden. Dies wird nicht zuletzt durch die zahlreich durchgeführten Post-hoc-Untersuchungen bzw. die unterschiedlich möglichen Erklärungsansätze für den Haupteffekt der reduzierten Fehler deutlich. Es offenbart sich, welche Vielzahl an Erklärungsmöglichkeiten grundsätzlich für derartig gewonnene Haupteffekte in Studien mit dem ATEO Lab System besteht – ebenso wie in realen Versuchsumgebungen meist eine Vielzahl an (latenten) Bedingungen für bestimmte (Stör-) Effekte verantwortlich ist. Die hohe Anzahl an Freiheitsgraden, welche die Prozessüberwachung und -führung der Operateure mithilfe des ATEO Master Displays mit sich bringt, lässt diesen Operateuren einen großen Spielraum zur Anwendung unterschiedlichster Strategien bzw. Interaktionsmuster mit Funktionen im ATEO Master Display. Dieser Punkt wird auch im Kapitel 9.2. nochmals aufgegriffen und die Bewährung des ATEO Lab Systems diskutiert.

Hinzu kommt der Einfluss von interindividueller Varianz in den Experimentalgruppen. Neben klassischen Variablen wie beispielsweise Alter und Bildungsgrad der Probanden, welche im Vorhinein konstant gehalten wurden, haben auch Merkmale wie Intelligenz und Persönlichkeit einen Einfluss. Derartige Fähigkeiten und Eigenschaften äußern sich in konkreten Verhaltensweisen und sollten daher gerade in Studien mit komplexen Simulationsumgebungen, in welchen hohe Freiheitsgrade im Verhalten bestehen, mit

erhoben werden. In Studien mit dem ATEO Lab System werden diese personenbezogenen Merkmale mittels umfangreicher Fragebögen erfasst, und deren Einfluss in einer vorherigen Studie zur manuellen Prozessüberwachung und -führung ist bereits belegt (von Bernstorff & Nachtwei, eingereicht). Methodisch musste aufgrund des zugrunde liegenden Versuchsdesigns bzw. der Stichprobengrößen jedoch sehr genau abgewogen werden, welche Kontrollvariablen gerade in dieser ersten Studie zur Kooperation mit Automatikfunktionen von höchster Relevanz sind. Dabei wurden Persönlichkeits- und Intelligenzmerkmale als Kontrollvariablen vorerst zurückgestellt. Dagegen wurde der leistungsrelevanten Anstrengung der Navigatoren sowie beobachtbaren Verhaltensweisen des Operators in direktem Bezug zur Nutzung der Automation der Vorrang gegeben. In Parallelstudien, die stärker auf eignungsdiagnostische Fragestellungen ausgerichtet sind, wird der Einfluss solcher Merkmale jedoch bereits systematisch mit erhoben.

9.1.2 Hypothese zur Anstrengung der Navigatoren (H 3.0)

Ein Effekt der Kooperation von Operateuren und der automatischen Unterstützung auf die Anstrengung der Navigatoren konnte nicht ausgewiesen werden. Hypothese 3.0 wird somit nicht angenommen. Die Anstrengung der Navigatoren ist über beide Bedingungen annähernd gleich stark ausgeprägt und wird deshalb nicht durch die Art der Prozessüberwachung und -führung der Operateure bedingt. Obwohl die Anstrengung der Navigatoren nicht verringert wurde, ist dies für die Form der Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation ebenso als positiv zu bewerten. Denn der durch diese Zusammenarbeit errungene Genauigkeitsvorteil wurde somit weder auf Kosten der Geschwindigkeit (Kapitel 9.1.1), noch auf Kosten der Anstrengung beider Navigatoren erzielt. Im arbeitspsychologischen Sinne (z. B. Bakker & Demerouti, 2007) zwingt die angestrebte Leistungs- bzw. Verhaltensoptimierung eines genaueren und zugleich schnelleren Fahrens die Navigatoren nicht zu einer Nutzung von Ressourcen.

Eine verringerte Anstrengung unabhängig von einer Leistungssteigerung muss nicht erstrebenswert sein, wenn dadurch ein zu geringes Anstrengungsniveau im Sinne einer Unterforderung eintritt, welches dann wiederum leistungsbeeinträchtigend sein kann. Idealerweise wäre jedoch die verringerte Anstrengung der Navigatoren zugleich mit der gesteigerten Genauigkeit einhergegangen. Dass dies nicht geschieht, scheint

jedoch weniger durch die Kooperation zwischen Operateur und Automation verursacht als durch die Anstrengung der Navigatoren aus vorherigen Fahrten: Der zur Kontrolle mitgeführte Prädiktor *Vorherige Anstrengung der Navigatoren* weist – unabhängig von der experimentellen Bedingung – einen starken und stabilen Effekt auf die Anstrengung der Navigatoren in den messrelevanten Fahrten 9 bis 11 auf ($r_{\text{Teil}} = .714$ ($p = .000$, *einseitig*)). Dieser Effekt ist somit eher intraindividuell begründet: Je angestrenzter die Navigatoren bereits in den vorherigen Fahrten sind, desto angestrenzter sind sie dann auch in den nachfolgenden messrelevanten Fahrten. Dabei gehen Anzahl (und Art) an Versuchsdurchläufen unabhängig von der experimentellen Variation mit einem zunehmend erhöhten Anstrengungsniveau der Navigatoren einher. Dieses wirkt sich jedoch in den messrelevanten Fahrten nicht negativ auf die Leistung der Navigatoren aus, wie anhand der schwachen Zusammenhänge von *Vorheriger Anstrengung der Navigatoren* mit den Leistungskriterien *Zeit* und *Fehlern* im Tracking gezeigt werden konnte. Möglicherweise haben sich Navigatoren im ATEO Lab System über die Versuchsdurchläufe sogar auf ein annähernd optimales Anstrengungsniveau eingependelt.

Die Anzahl von Hinweisen oder Eingriffen des Operators weisen mit der jeweiligen Anstrengung keinen Zusammenhang auf. In beiden Fällen zeigen wiederum die Korrelationen nullter Ordnung einen ähnlich schwachen Zusammenhang, so dass dies nicht methodisch (im Sinne zu wenig übrig bleibender inkrementeller Varianz gegenüber des Prädiktors *vorherige Anstrengung der Navigatoren*), sondern inhaltlich begründbar ist. Offenbar tragen Eingriffe somit zwar zu einem langsameren Fahren der Navigatoren bei (Kapitel 9.1.1), diese Entschleunigung wirkt sich jedoch nicht anstrengungsreduzierend für die Navigatoren aus. Das kann jedoch wie zuvor auf die ohnehin sehr geringe Anzahl an Eingriffen zurückgeführt werden, die Operateure beispielsweise im Vergleich zu Hinweisen tätigen. Darüber hinaus scheint das Anstrengungsniveau, wie oben erläutert, ohnehin zu stark durch den Versuchsdurchlauf selbst bzw. die vorherige Anzahl an Fahrten bedingt worden zu sein.

9.1.3 Hypothesen zu leistungsrelevanten Zuständen des Operators (H 4.0 und 5.0)

Die Hypothesen eines mit der teilautomatischen Bedingung verringerten Workloads (Hypothese 4.0) sowie eines erhöhten Situationsbewusstseins (Hypothese 5.0) des Operators konnten nicht bestätigt werden. Das (Teil-)Ziel der erhöhten

Genauigkeit haben die Operateure weder bei einer gleichzeitigen Verringerung ihrer Beanspruchung noch bei einer gleichzeitigen Erhöhung ihres Situationsbewusstseins erreicht. Beide Zustände des Operateurs variieren in ihrer Ausprägung nicht über die experimentellen Bedingungen.

Dass sich der *Workload* des Operateurs in der teilautomatischen gegenüber der manuellen Bedingung nicht veränderte, kann einerseits kritisch gesehen werden: Es zeigt sich, dass manuelle Prozessüberwachung und -führungen oft mit (zu sehr) erhöhtem Workload des Operateurs einhergehen, den man durch Automatisierung, wenn auch nicht immer erfolgreich, zu reduzieren sucht (Parasuraman & Manzey, 2010). Die optional angebotene automatische Unterstützung hätte den Operateur entlasten und in diesem Sinne zu einem verringerten Workload der Operateure beitragen können bzw. sollen. Dass diese Verringerung des Workloads nicht eintritt, kann einerseits daran liegen, dass die Kooperation mit der automatischen Unterstützung selbst im Sinne von Kirlik (1993; Kapitel 6.2) einen kognitiven Aufwand darstellt, da hier nun zusätzlich noch abgewogen werden muss, ob und wann welche Automatikfunktionen eingesetzt werden. Andererseits ist anzunehmen, dass die automatische Unterstützung die Operateure tatsächlich entlastet, die Operateure jedoch das resultierende (zu) geringe Beanspruchungsniveau durch kompensierende Verhaltensweisen bzw. kompensierende kognitive Beschäftigung im Sinne des *Need for cognition* (Cacioppo & Petty, 1982; Cacioppo, Petty & Kao, 1984; Cohen, Stotland & Wolfe, 1955) anheben. Letztere Ursache würde dafür sprechen, dass das Workload-Niveau in der teilautomatischen (und somit auch in der damit verglichenen manuellen Bedingung) bereits als adäquat bezeichnet werden kann. Die Annahme, dass möglicherweise bereits ein adäquates Workloadniveau vorliegt, wird auch durch den positiven Haupteffekt einer erhöhten Genauigkeit des Trackings gestützt: Schließlich sorgt der Operateur für eine erhöhte Genauigkeit des Trackings, ohne dass damit ein erhöhter kognitiver Aufwand einhergeht. Im Falle eines nicht adäquaten bzw. unbalancierten Workloads von zu geringer oder zu hoher Beanspruchung hätte dies eher negative Konsequenzen in Bezug auf die Leistung nach sich ziehen müssen. Aus methodischer Sicht muss jedoch einschränkend erwähnt werden, dass ein kausaler Zusammenhang im Sinne von Workload-Effekten auf die Leistung nur unter Vorbehalt gezogen werden kann: Die Reaktionszeit im Rahmen der SPAM (Kapitel 7.4.4), welche als eines von drei Kriterien in den Workload-Index einging, wurde nicht vor, sondern während der drei Hauptfahrten erhoben. Die subjektiven Workloadmaße mithilfe von

NASA-TLX und RSME_A (Kapitel 7.44) wurden erst nach den Fahrten 9 bis 11 erhoben. Damit erfolgte die Erfassung des Workload-Index zeitlich parallel und nachgelagert zur Messung der Leistungsmaße Fehler und Zeit. Allerdings ist wiederum anzumerken, dass die Beanspruchung des Operators zwar nachgelagert gemessen wird, jedoch nicht erst nachgelagert entsteht. Das wahre Workloadniveau wird sich möglicherweise schon vor, in jedem Fall während der Fahrten 9 bis 11 einpendeln. Der Workload des Operators und seine Leistung (bzw. seine leistungsrelevanten Verhaltensweisen) bedingen sich in den drei Hauptfahrten gegenseitig. So kann der Effekt einer erhöhten Genauigkeit bei gleichbleibender Beanspruchung des Operators zwar nicht kausal auf ein adäquates Workloadniveau zurückgeführt werden. Jedoch kann dennoch davon ausgegangen werden, dass ein adäquates Workloadniveau vorlag.

Das Situationsbewusstsein des Operators war ebenfalls in beiden Bedingungen gleich stark ausgeprägt bzw. wird von der jeweiligen Art der Prozessführung (manuell vs. teilautomatisch) nicht beeinflusst. Auch wenn der postulierte Anstieg des Situationsbewusstseins (Hypothese 5.0) nicht erfolgte, ist das hier ermittelte Ergebnis als höchst positiv zu bewerten. Während eine Reduktion des Workloads durch die Einführung automatischer Systeme zumeist angestrebt wird, ist eine Reduktion des Situationsbewusstseins dagegen nicht erwünscht. Tatsächlich gehen jedoch mit zu starker Reduktion (ebenso wie mit zu starker Erhöhung) des Workloads Einbußen im Situationsbewusstsein einher. Dieser problematische Trade-off zwischen Workload und Situationsbewusstsein wird in der Literatur vielfach thematisiert (z. B. Endsley, 1995; Endsley & Kiris, 1995; Miller, Funk, Goldman et al., 2005; Wickens, 2002). Ein adäquates Workloadniveau von Operateuren ist somit auch hinsichtlich eines adäquaten Situationsbewusstseins erstrebenswert bzw. wirkt sich (auch) vermittelt über den Erhalt des Situationsbewusstseins positiv auf die Leistung von Operateuren aus. Wie oben beschrieben, lässt sich annehmen, dass der Workload der Operateure in der teilautomatischen (wie auch in der manuellen Bedingung) in adäquater bzw. leistungsförderlicher Weise ausgeprägt war. Damit ließe sich im Sinne des oben genannten Trade-offs auf ein adäquates Situationsbewusstsein der Operateure schließen und erklären, weshalb eine Erhöhung des Situationsbewusstseins nicht eingetreten (und auch nicht mehr notwendig) ist. Dass das Situationsbewusstsein in der teilautomatischen Bedingung ebenso stark ausgeprägt war wie in der rein manuellen Bedingung, lässt sich auch positiv betrachten: Es ist denkbar, dass die Operateure bei der manuellen Prozessüberwachung und -führung (unter Annahme eines adäquaten

Workloadniveaus) über ein höheres Situationsbewusstsein verfügten als Operateure, die einen Teil der Kontrolle an die Automation delegierten und damit immer auch Automation Surprises (Kapitel 1.2) riskierten. Das über diese beiden Bedingungen gleich hoch ausgeprägte Situationsbewusstsein könnte hier dafür sprechen, dass die Automatikfunktionen diesbezüglich tatsächlich eine Unterstützung des Operators darstellen. Ein förderlicher Aspekt der alternierenden Kooperation könnte beispielsweise in der Autorität des Operators liegen, die sich nach Parasuraman et al. (2007) positiv auf das Situationsbewusstsein von Operateuren auswirkt. Eine zusammenfassende Evaluation der hier untersuchten Kooperationsform erfolgt im nächsten Abschnitt (Kapitel 9.1.4).

9.1.4 Fazit zur Beantwortung der Fragestellung

Die optional angebotene automatische Unterstützung verhalf Operateuren zu einer besseren Prozessüberwachungs- und -führungsleistung im Vergleich zu Operateuren, denen keine automatische Unterstützung angeboten wurde. Die verbesserte Prozessüberwachungs- und -führungsleistung äußerte sich in stark reduzierten Trackingfehlern, wobei jener Gewinn an Genauigkeit nicht auf Kosten der Trackingzeit oder auf Kosten einer erhöhten Anstrengung beider Navigatoren erfolgte. Ebenso blieben Workload und Situationsbewusstsein der Operateure bei der Kooperation mit der Automation auf demselben Niveau wie dem von Operateuren in der manuellen Bedingung. Dass es sich insofern um eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation gehandelt haben muss, kann aus globaler, empirischer Sicht somit eindeutig bestätigt werden. Dass es „noch besser geht“, wird in der Tatsache ersichtlich, dass ein *Teilziel* des Operators (Optimierung der Genauigkeit des Trackings) erreicht wurde. Denn die gleichzeitige Optimierung der Trackingzeit ist nicht eingetreten. Über die in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse hinaus soll die Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation auf Basis der alternierenden Kooperationsform nun auch aus der Entwicklerperspektive bewertet werden.

9.2 Wurde eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation bereits in der Entwicklungsphase unterstützt?

Dass die Kooperation zwischen Operateur und Automation empirisch als erfolgreich ausgewiesen werden kann, lässt nun indirekt auch die Bewertung der zugrunde liegenden Kooperationsform, die alternierende Kooperation, zu. Zum einen lassen sich die Eigenschaften dieser Kooperationsform selbst anhand zentraler Aspekte wie Autorität, Kontrolle oder Flexibilität der Automation beschreiben und beispielsweise auf Basis von Kriterien der Human-centered Automation (Kapitel 2.1.2) analysieren. Solche Eigenschaften erlauben es, unabhängig von der Art der Implementierung der Kooperationsform mögliche Effekte dieser hinsichtlich der Leistung oder leistungsrelevanter Zustände von Operateuren vorherzusagen. Konkrete Beispiele solcher Vorhersagen finden sich auch in dieser Arbeit (zum Beispiel in Kapitel 6). Im Endeffekt lässt sich jede Form der Kooperation von Operateur und Automation jedoch nur dann bewerten, wenn dabei auch der Entwickler bzw. Entwicklungsprozess *hinter* der jeweiligen Kooperation betrachtet wird (Kapitel 1.2). Wurde eine erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation bereits in der Entwicklungsphase unterstützt? In anderen Worten: Wurde die hier untersuchte (theoretische) Form der alternierenden Kooperation praktisch bzw. technisch so umgesetzt, dass Operateure bei der Prozessüberwachung und -führung von ihr profitieren? Post-hoc kann diese Frage auf Basis der empirischen Ergebnisse ebenfalls bejaht werden. Die auf Basis der ATEO-Idee (Kapitel 3) a priori erfolgte, systematische Begleitung der Entwicklungs- bzw. Implementierungsphase (Kapitel 7.2.3) gibt jedoch zusätzlichen Aufschluss auf diese Frage.

Einerseits zeichnete sich die Entwicklung der automatischen Unterstützung durch eine starke Pragmatik aus: Bei den Automatikfunktionen handelte es sich teilweise nicht um komplett neu konzipierte, sondern um nachträglich angepasste Automatikfunktionen, die ihrerseits auf einen anderen Zweck, nämlich nicht auf die Kooperation mit einem Operateur, sondern auf die *voll*automatische Prozessüberwachung und -führung der Navigatoren (Ersatz des Operateurs) ausgerichtet waren. Effekte dieser vollautomatischen Prozessüberwachung und -führung werden in einer Parallelarbeit (Niestroj, eingereicht) erhoben.

Andererseits konnte durch das Anpassen technisch ausgereifter Automatikfunktionen der (insbesondere zeitliche) Aufwand reduziert werden, den eine

Neukonzeption und -implementierung von Automatikfunktionen mit sich gebracht hätte. Möglicherweise ermöglichte dieser Aufwandsvorteil auf Seiten der Entwickler sogar deren stärkeren Fokus auf die Art der Zusammenarbeit der Automatikfunktionen mit dem Operateur. In diesem Zusammenhang können zudem die regelmäßig durchgeführten interdisziplinären Workshops mit (weiteren) Informatikern und Ingenieurpsychologen als förderliche Rahmenbedingung für den Entwicklungsprozess angesehen werden. Zwischenschritte der Entwicklung wurden dabei sowohl aus Sicht von Entwicklern, Nutzern sowie von Experten für nutzerzentriertes Design (Endsley & Jones, 2011) evaluiert. In einer zugrunde liegenden Anforderungsanalyse wurde dabei zwischen vorgegebenen, obligatorischen Kriterien für die Entwicklung der automatischen Unterstützung (durch externe Experten und Nutzer) und Freiheitsgraden in der *Umsetzung* solcher Kriterien durch den Entwickler selbst abgewogen. Im Sinne der Idee des ATEO-Projekts sollte somit der Bezug zu realen Entwicklungsprozessen hergestellt bzw. sichergestellt werden, dass die Entwicklung bzw. Anpassung der Automatikfunktionen tatsächlich auf die Leistung von Entwicklern selbst zurückzuführen ist. So lassen sich im Nachhinein auch einige Aspekte der entwickelten automatischen Unterstützung herausgreifen, die als die üblichen „pitfalls in the design of human-technology coagency“ (Inagaki, 2010, S. 155) bezeichnet werden können: Werden beispielsweise die beiden visuellen und/oder die beiden auditiven automatischen Geschwindigkeitshinweisfunktionen („Schneller fahren“ und „Langsamer fahren“) zugleich an die Automation delegiert, führt dies zu einem nahezu permanenten (meist abwechselndem) Auslösen der entsprechenden automatischen Hinweise auf der Navigatorensite. Grund: Die festgelegten Geschwindigkeitsgrenzen der Automatikfunktionen (beim Überschreiten der oberen wird der automatische Hinweis „Langsamer fahren“ ausgelöst; beim Unterschreiten der unteren wird der automatische Hinweis: „Schneller fahren“ ausgelöst) liegen dann dicht beieinander. Als Folge ist die zwischen der oberen und unteren Grenze liegende optimale Geschwindigkeit des Fahrobjekts gerade bei der hier kooperativ durchgeführten Fahraufgabe der Navigatoren nur schwer zu halten. (Details zur Funktionsweise der Automatikfunktionen finden sich bei Schulze (2012)). Operateure werden im Training auf die zugrunde liegenden Algorithmen der Automation nicht hingewiesen. Sie erhalten jedoch ein visuelles Feedback über die grundsätzliche Aktivität der Automation sowie über jeden automatisch ausgelösten Hinweis (Kapitel 7.2.3), das sich, wie bereits diskutiert, womöglich auch auf den Erhalt ihres Situationsbewusstseins auswirkt

(Kapitel 9.1). Operateuren wurde somit offensichtlich erfolgreich die Möglichkeit gegeben, durch entsprechende Strategien bzw. Verhaltensweisen in der Kooperation mit der Automation leistungsbeeinträchtigende Konsequenzen solcher Entwicklungslücken zu vermeiden oder zu umgehen und somit im Sinne von Vicente (1999) eine Vervollständigung des Designs vorzunehmen. Dass Operateure bei der Interaktion mit automatischen Systemen oft höchst unterschiedliche Strategien und Verhaltensweisen anwenden, wird zumeist von Entwicklern nicht bedacht oder vorhergesehen (Parasuraman & Manzey, 2010). So konnten in dieser Studie beispielsweise leistungsrelevante Unterschiede in der Stabilität der Nutzung von Automatikfunktionen identifiziert werden. Dabei werden sich die Einfach-Initiatoren (Operateure, welche die Kontrolle meist früh und endgültig an die Automatikfunktionen abgeben) höchstwahrscheinlich genau im Sinne des Erfinders verhalten haben. Die in dieser Studie implementierten statischen Automatikfunktionen sind technisch darauf angelegt, die Kontrolle für Funktionen vollständig übernehmen und eigenständig ausführen zu können. Da Entwickler zudem auch historisch motiviert sind, maximal zu automatisieren (Kapitel 2.1.1), wird die endgültige Delegation der Kontrolle an die Automation aus Entwicklersicht erwünscht sein. Die Unterbrechung dieser Kontrolle durch häufiges Ein- und Ausschalten der Automation dagegen wird eher unerwünscht oder unbeabsichtigt sein. Solche von Entwicklern unbeabsichtigten bzw. unvorhergesehenen Verhaltensweisen von Operateuren führen dazu, dass die eigentlich angestrebten Vorteile durch die Automation, wie beispielsweise Effizienz oder Sicherheit, nicht realisiert werden können (Parasuraman & Manzey, 2010). Wie in dieser Studie allerdings ersichtlich, konnten solche Vorteile – trotz möglicherweise unbeabsichtigt provozierten Verhaltensweisen von Operateuren – in Form der erhöhten Genauigkeit erzielt werden. Ob die erfolgreiche Kooperation zwischen Operateur und Automation bereits in der Entwicklungsphase unterstützt wurde, soll auf Basis der hier angeführten Einschränkungen insofern mit *weitestgehend* beantwortet werden.

9.3 Wegbereitung für kooperative Automation? – Bewertung des theoretischen und empirischen Beitrags dieser Arbeit

In dieser Arbeit wurde sich zentralen Herausforderungen gewidmet, die aktuell in Forschung und Praxis zu Ansätzen kooperativer Automation bestehen. Ein angestrebter

theoretischer Beitrag lag in dem Vorhaben, vor dem Hintergrund einer Vielzahl uneinheitlicher Definitionen zu adaptiven und adaptierbaren Automationskonzepten Orientierung zu schaffen. Dafür wurden die in der Literatur schon mehrfach diskutierten Begriffe *Autorität* und *Kontrolle* als zentrale Aspekte der dynamischen Funktionsallokation identifiziert und in einem Rahmenmodell hierarchisch zueinander in Bezug gesetzt. Unter Bezug auf zuvor ausführlich diskutierte theoretische Modelle der Mensch-Automation-Interaktion sowie auf Befunde in der Literatur wurden dabei Annahmen darüber gemacht, wer jeweils Autorität und/oder Kontrolle haben kann. Dabei wurde im Gegensatz zu statischen Ansätzen der Funktionsallokation nicht von der ausschließlichen Autorität des Entwicklers ausgegangen, um die Kontrolle von Funktionen endgültig an Operateur oder Automation zu verteilen. Stattdessen wurde angenommen, dass jeweils Operateur, Automation oder beide Autorität und/oder Kontrolle haben könnten. Der Entwickler (bzw. Gesetzgeber) könne dabei wiederum auf einer Metaebene der Autorität über bestimmte Ausgangslagen bestimmen.

Der Wert des Rahmenmodells liegt dabei insbesondere darin, dass sich von diesem systematisch mögliche Formen der Kooperation von Operateur und Automation ableiten lassen. Dafür werden theoretisch mögliche Kombinationen dazu, wer Kontrolle und/oder Autorität haben könnte, durchgespielt. Für die Spezifikation und Verbildlichung solcher Kooperationsformen wurde auf bereits existierende eingängige (schematische) Beschreibungen von Initiation und Anpassung der Automation (z. B. Wandke, 2005) oder von kontinuierlichen Übergängen der Kontrolle in Form eines Automationsspektrums (z. B. Flemisch et al., 2012) zurückgegriffen.

Das Resultat sind trennscharfe Formen der Kooperation, die sich jeweils anhand dreier zentraler Aspekte (Autorität, Kontrolle und Flexibilität der Automation) beschreiben lassen. Die trennscharfe Definition und damit zugeschriebene Spezifität jeder abgeleiteten Kooperationsform ist als ein besonderer Vorteil gegenüber den bis heute in der Literatur oftmals nur groben und überlappenden Definitionen adaptiver und adaptierbarer Automation sowie den unstrukturiert verwendeten Begrifflichkeiten Autorität und Kontrolle zu sehen. Für die Kooperationsformen selbst wurden im Zuge der Modellentwicklung zwar konkret noch keine Hypothesen hinsichtlich der Leistung oder leistungsrelevanten Zustände von Operateuren abgeleitet. Dennoch können die spezifischen Eigenschaften einer Kooperationsform als klare Richtlinien für die praktische Umsetzung dieser Kooperationsform in (realen) Entwicklungsprozessen und ebenso für konsistente Operationalisierungen dieser in empirischen Untersuchungen

fungieren. Damit liegt eine weitere Stärke des theoretischen Beitrags dieser Arbeit darin, dass ein unmittelbarer Brückenschlag vom theoretischen Modell zu empirischen Untersuchungen möglich wird. Dies ist wiederum als Vorteil gegenüber solchen theoretischen Modellen (z. B. Parasuraman et al., 2000; Sheridan & Verplank, 1978; Kapitel 5.1 und 5.2) zu sehen, die aufgrund von fehlenden oder zu vagen Beschreibungen von Automationsstufen oder -konzepten deren eindeutige empirische Überprüfung kaum erlauben. Das Resultat sind dann die bereits erwähnten inkonsistenten Effekte (Kapitel 5.1.2 und 5.5.3), die sogar innerhalb von Studienreihen wie zum Beispiel bei Sauer et al. (2011) und Sauer et al. (2013) auftreten. So scheint doch die saubere, feingliedrige Klassifikation möglicher Kooperationsformen auf theoretischer Ebene höchst lohnenswert.

Die spezifisch beschriebenen Kooperationsformen stellen auch inhaltlich einen Vorteil gegenüber den in Kapitel 5.1 bis 5.3 behandelten theoretischen Modellen dar: In diesen wird jeweils mindestens einer der hier als zentral erachteten Aspekte (Autorität, Kontrolle oder Flexibilität der Automation) nicht (explizit) berücksichtigt. Tatsächlich erfordert die systematische Analyse und Bewertung von Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation jedoch deren gleichzeitige Berücksichtigung. Beispielsweise können Effekte adaptierbarer Automation auf Leistung oder leistungsrelevante Zustände wie Workload und Situationsbewusstsein völlig unterschiedlich ausfallen, je nachdem, ob die Autorität bei Operateur oder Automation liegt bzw. die Initiation passiv oder aktiv erfolgt.

In Bezug auf die drei Aspekte selbst wurden literaturbasiert Annahmen darüber getroffen, wer *prinzipiell* Autorität und Kontrolle innehaben könnte. Dabei wurden im Hinblick auf eine sichere, effektive und effiziente Leistung beispielsweise Fälle wie eine geteilte Autorität ausgeschlossen. Ein Aushandeln der Autorität wurde jedoch für sinnvoll erachtet und als Kriterium für die Zuteilung von Autorität normale vs. abnormale Fälle (Flemisch et al., 2012) diskutiert. Tatsächlich sind solche Annahmen jedoch noch empirisch zu überprüfen. So zeigen reale Szenarien wie die Notwasserung des US-Airway-Airbus' AWE 1549 auf dem Hudson River im Jahr 2009, dass in extrem abnormalen Situationen gerade auch *keine* Automation zur Verfügung stehen kann. Nur aufgrund des Piloten als letzte autoritative (und kontrollierende) Instanz konnte das Flugzeug (auf dem Wasser) notgelandet werden.

Auch der Fall des Aushandelns von Autorität kann unter Berücksichtigung von Kontextbedingungen empirisch noch näher betrachtet werden. Denkbar ist, dass die Zeit

eine moderierende Variable darstellt, indem das Aushandeln der Autorität bei viel verfügbarer Zeit gewährt wird und/oder möglicherweise positive Effekte auf Leistung oder Zufriedenheit von Operateuren hat. Dagegen könnte bei nur wenig Zeit die Entscheidung für die Zuweisung der Autorität direkt auf der nächsthöheren Meta-Ebene (z. B. im Vorhinein durch den Entwickler) getroffen werden. Die Verlagerung einer Entscheidung auf die nächsthöhere Autoritätsebene ist zudem vor dem Hintergrund interessant, dass das Aushandeln der Autorität auch eine Quelle für Konflikte sein kann. (Man stelle sich beispielsweise vor, wie zwei Personen gemeinsam durch eine Tür gehen und sich behindern, indem sie jeweils dem anderen den Vortritt lassen wollen). Derartige Beispiele zeigen, wie sich die von Flemisch et al. (2012) vorgeschlagenen Metaphern sozialer Interaktion zur Verbildlichung von Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation bewähren können. Aufgrund solcher Bezüge zu Kooperation und Konflikten in interpersonellen Kontexten haben die Autoren beispielsweise auch Konzepte wie Negotiation und Arbitrierung (Kelsch et al., 2006) eingeführt, die in empirischen Studien ebenfalls experimentell variiert werden können.

Der theoretische Beitrag dieser Arbeit ist somit vielleicht kein erkenntnistheoretischer, jedoch ein *systematisierender*, indem Human Factors Forschern eine fundierte Grundlage für die trennscharfe Klassifikation statischer wie dynamischer Kooperationsformen zur Verfügung gestellt wird. Mit dieser kann der Konfusion bei der Charakterisierung flexibler Automationskonzepte (Scerbo, 2006) begegnet werden und durch die verbesserte Operationalisierung solcher Konzepte in empirischen Studien auch eine entsprechende Konfusion bei der Gewinnung und Interpretation von empirischen Ergebnissen reduzieren.

Der angestrebte *empirische Beitrag* lag nun genau darin, den propagierten, unmittelbar möglichen Brückenschlag von den theoretisch begründeten Kooperationsformen in deren empirische Überprüfung auch zu realisieren. Dabei wurde ein *iteratives* Vorgehen zur schrittweisen, dafür methodisch sauberen Ermittlung von Effekten unterschiedlicher Kooperationsformen angestrebt (Kapitel 4; 5.5.3). Als erster Schritt dieses iterativen empirischen Vorgehens wurde sodann eine der zuvor theoretisch abgeleiteten Kooperationsformen, die passiv-alternierende Kooperation, mithilfe des ATEO Lab Systems untersucht. Diese Kooperationsform lässt sich als einfachster Fall der Kooperation zwischen Operateur und Automation (Kienle et al., 2009) beschreiben, welcher *statische* Automationsfunktionen zu Grunde liegen. Von einem Fall der eigentlichen *kooperativen Automation* kann hier somit nicht gesprochen

werden. Während in dem theoretischen Rahmenmodell und den vorgeschlagenen Kooperationsformen ein direkter Beitrag für Ansätze dynamischer Funktionsallokation bzw. kooperativer Automation verstanden werden kann, ist die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte empirische Studie eher als indirekter Beitrag für Forschung und Praxis der kooperativen Automation zu sehen (denn Effekte flexibler Automationskonzepte auf Leistung und leistungsrelevante Zustände von Operateuren wurden nicht erhoben). Immerhin kann von den ermittelten Leistungseffekten der *passiv-alternierenden Kooperation* (Kapitel 8 und 9.1) jedoch auf Auswirkungen der (anderen beiden zentralen) Aspekte Autorität und Kontrolle geschlossen werden. Die Kombination aus autoritativem Operateur und (dem alternierenden Wechsel von) vollständiger Kontrolle durch entweder Operateur selbst oder Automation führt zu einer besseren Prozessüberwachungs- und -führungsleistung der Operateure im Vergleich zu Operateuren in einer manuellen Bedingung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich dieser Effekt verändern kann, wenn nun anstelle von statischen Automatikfunktionen flexible Automatikfunktionen hinzugezogen, alle anderen Variablen und Versuchsbedingungen jedoch konstant gehalten werden. Hierin genau liegt der Anspruch und Wert des iterativen empirischen Vorgehens. Im Zuge desselben Versuchskontexts können nun Kooperationsformen bzw. ausgewählte zentrale Aspekte (Autorität, Kontrolle oder Flexibilität der Automation) unter Konstanthalten des jeweils anderen Aspekts variiert werden, um so annähernd vergleichbare Effekte unterschiedlicher Kooperationsformen zu integrieren. Aufgrund der hohen Kontextabhängigkeit von Befunden in angewandten Forschungsbereichen wie der Human-Computer-Interaktion sind generelle Aussagen zu Effekten von Automatikkonzepten ohnehin erschwert bzw. nur bedingt erstrebenswert (Kapitel 5.1). Innerhalb derselben Versuchsreihe, das heißt innerhalb desselben Kontexts, sind annähernd vergleichbare Befunde jedoch von großem Wert, um valide Aussagen für die Implementierung solcher Konzepte in der (jeweiligen) Praxis zu generieren.

Das ATEO Lab System und die Idee des ATEO-Projekts, den Entwickler bei der Analyse und Bewertung von Mensch-Automation-Interaktionen stärker mit einzubeziehen, kann hier in besonderer Weise als geeignet bezeichnet werden: Durch die im Rahmen des ATEO-Projekts systematisch durchgeführte bzw. begleitete und durch Forschungsarbeiten gut dokumentierte Entwicklung des ATEO Lab Systems (z. B. Nachtwei, 2011b) sind technische Erweiterungen des Systems – auch für fremde Entwickler – vergleichsweise gut möglich. (Entsprechend wird diese

Simulationsumgebung bereits für eine Vielzahl von unterschiedlichsten Forschungsansätzen im Bereich der Arbeits-, Ingenieur- und Organisationspsychologie sowie der Informatik eingesetzt). Das hier propagierte iterative empirische Vorgehen zur Untersuchung unterschiedlicher Kooperationsformen lässt sich somit auch von Entwicklerseite schrittweise umsetzen, so dass jeder empirischen Untersuchung ein eigener, beobachtbarer Entwicklungsprozess zugrunde liegt. Von diesem kann dann gemäß der ATEO-Projekt-Idee zusätzlich auf den Erfolg der jeweils analysierten Kooperationsform geschlossen werden. Mit dem Entwicklungsprozess der Automatikfunktionen wird somit für jede durchgeführte empirische Untersuchung eine (weitere) zentrale Kontextvariable kontrolliert. Dies stellt einen immensen Vorteil und bisher auch innovativen Aspekt gegenüber den üblichen Human Factors Studien zur Mensch-Automation-Interaktion dar, in denen die Leistung von Entwicklern – wenn überhaupt – nur diskutiert, jedoch nicht systematisch beobachtet wurde.

Darüber hinaus bietet das ATEO Lab System auch messmethodisch den Vorteil, dass das Verhalten der Operateure (Betätigen von (manuellen und automatischen) Hinweisen sowie Eingriffen) objektiv mittels Logfile-Dateien erfasst und stets mit ausgewertet wird. So konnten in dieser Untersuchung zur Kooperation von Operateur und Automation nicht nur globale Effekte berichtet, sondern auch konkrete Verhaltensweisen in Bezug auf die automatische Unterstützung analysiert werden. Damit sind höchst wertvolle Schlüsse auf interindividuelle Verhaltensmuster und -strategien von Operateuren in der Interaktion mit Automatikfunktionen möglich. Das Auftreten und die Antizipation solcher unterschiedlichen Strategien stellt für Entwickler in der Realität eine immense Herausforderung (wenn nicht teilweise Unmöglichkeit) dar, was wiederum katastrophale Auswirkungen haben kann. Im Nachhinein wird dann je nach Perspektive der Fehler beim Menschen, zum Beispiel im Sinne von Misuse und Disuse (Parasuraman & Riley, 1997; Kapitel 1.1), oder bei der „clumsy“ Automation (z. B. Miller & Parasuraman, 2007; Kapitel 1.2) gesucht. Der Ansatz, mögliche konkrete Verhaltensweisen von Operateuren schon in empirischen Studien systematisch zu betrachten, könnte hier vorbeugen und schon früh für sehr viel differenziertere Ursachenzuschreibungen sorgen.

In dem *empirischen* Beitrag dieser Arbeit ist somit ein erster Schritt auf dem Weg zu kooperativer Automation zu sehen, indem die Vorstufe dynamischer Zusammenarbeit, jedoch nicht die dynamische Zusammenarbeit zwischen Operateur und Automation selbst erhoben wurde. Von der aktuellen Untersuchung sind allerdings

Schlüsse auf Effekte wesentlicher Aspekte dynamischer Funktionsallokation (Autorität und Kontrolle) möglich. Zudem erlauben Einblicke in den Entwicklungsprozess der zugrunde liegenden Automatikfunktionen sowie in konkrete Verhaltensdaten der Operateure vertiefte, wenn nicht neuartige Aussagen zur Leistung von Operateuren in der Kooperation mit der Automation.

9.4 Ausblick

Das theoretische Rahmenmodell und die davon abgeleiteten unterschiedlichen Formen der Kooperation zwischen Operateur und Automation können als Wegweiser für zukünftige empirische Ansätze verstanden werden. Eine sukzessive empirische Überprüfung der Kooperationsformen wäre aufgrund erweiterter Aussagen zu Effekten zentraler Aspekte dynamischer Funktionsallokation wie Autorität, Kontrolle und Flexibilität der Automation wünschenswert. Aktuell lässt sich beispielsweise neben der in dieser Arbeit untersuchten *passiv-alternierenden Kooperation* auch die in einer Parallelstudie des ATEO-Projekts (Niestroj, eingereicht) untersuchte Kooperationsform in das Rahmenmodell einordnen. In jener Studie wurden Effekte der vollautomatischen Prozessüberwachung und -führung auf Trackingfehler und -zeit der beiden Navigatoren analysiert. Da hier die Automation Autorität und Kontrolle zugleich hat und die zugrunde liegenden Automatikfunktionen teilweise adaptiv sind, lässt sich diese Form als *aktiv-adaptive Kooperation* beschreiben. Der naheliegende nächste Schritt ist somit in einem Vergleich dieser beiden – mithilfe des ATEO Lab Systems überprüfen – Kooperationsformen hinsichtlich ihrer Effekte (z. B. auf Fehler, Zeit und Anstrengung der Navigatoren) zu sehen.

Darüber hinaus ist die empirische Überprüfung der Kooperationsformen auch in anderen Forschungskontexten der Mensch-Automation-Interaktion erstrebenswert. Um die Aussagekraft des Rahmenmodells zu erweitern, sollte der Fokus zukünftiger empirischer Studien dabei noch stärker auf möglichen Kriterien für das Wechseln von bzw. für Übergänge der Kontrolle gerichtet werden. Derartige Kriterien, wie beispielsweise Zustand des Operateurs und/oder der Automation oder dynamische Kontextbedingungen, wurden im Zuge dieser Arbeit bereits diskutiert (z. B. Kapitel 5.3.2), jedoch in das theoretische Modell noch nicht integriert. Die stetige Weiterentwicklung und Ausdifferenzierung von Automatikkonzepten mag zudem auch zur notwendigen Erweiterung der Anzahl an Autoritätsebenen im vorgeschlagenen

Rahmenmodell führen, weil die Kooperationsformen es in dieser Form nicht mehr vermögen, die Komplexität von Automatikskonzepten der im Rahmen solcher Konzepte miteinander interagierenden Funktionen abzudecken (Das Aushandeln von Autorität (und/oder Kontrolle) wäre dann auf mehreren Ebenen zugleich denkbar).

Neben Erweiterungen des Rahmenmodells selbst sind Erweiterungen seines Anwendungsbereichs höchst wünschenswert. So sind auf Basis dieser Kooperationsformen systematische Klassifikationen von bereits in der Praxis eingesetzten flexiblen Automationskonzepten denkbar. Daneben lassen sich auch reale (Beinahe-)Unfälle mithilfe solcher Kooperationsformen analysieren. Mithilfe praxisnaher Auf- und Verbreitungen solcher Klassifikationen und Analysen könnten die Kooperationsformen als ein hilfreiches und zugleich inhaltlich spannendes Konzept für Forscher, Entwickler und Praktiker etabliert werden und so möglicherweise zu einem gelungenen Brückenschlag zwischen Wissenschaft und Praxis beitragen.

Literatur

- Abbink, D. A., Mulder, M. & Boer, E. R. (2012). Haptic shared control: Smoothly shifting control authority? *Cognition, Technology & Work*, 14 (1), 19–28.
- Aiken, L. S. & West, S. G. (1991). *Multiple regression. Testing and interpreting interactions*. Newbury Park, CA: SAGE.
- Andes, R. C. & Rouse, W. B. (1990). Specification of adaptive aiding systems. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 4-7 November, Los Angeles* (S. 802–807). New York: IEEE.
- Badke-Schaub, P., Hofinger, G. & Lauche, K. (2008). *Human Factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen*. Heidelberg: Springer.
- Bahner, J. E., Hüper, A.-D. & Manzey, D. (2008). Misuse of automated decision aids: Complacency, automation bias and the impact of training experience. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66 (9), 688–699.
- Bailey, R. W. (1989). *Human performance engineering: Using Human Factors/Ergonomics to achieve computer system usability* (2. Aufl.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Bainbridge, L. (1978). Forgotten alternatives in skill and workload. *Ergonomics*, 21, 169–185.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19 (6), 775–779.
- Bainbridge, L. (1988). Types of representation. In L. P. Goodstein, H. B. Andersen & S. E. Olsen (Hrsg.), *Tasks, errors and mental models* (S. 70–91). London, UK: Taylor & Francis.
- Bakker, A. B. & Demerouti, E. (2007). The Job Demands-Resources model: State of the art. *Journal of Managerial Psychology*, 22 (3), 309–328.
- Beck, H. P., McKinney, J. B., Dzindolet, M. T. & Pierce, L. G. (2009). Effects of human-machine competition on intent errors in a target detection task. *Human Factors* 51 (4), 477–486.
- Bernstorff, C. von & Nachtwei, J. (eingereicht). Between keyhole and clutter effect – A multi-level evaluation of interface extensions using the ATEO master display (AMD).
- Bernstorff, C. von & Nachtwei, J. (2013). Kooperative Automation im Labor – Vergleich von manueller und teilautomatisierter Prozessüberwachung und -führung. In E. Brandenburg, L. Doria, A. Gross, T. Günzler & H. Smieszek (Hrsg.), *Tagungsband der 10. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 10.-12. September, Berlin* (S. 456–465). Düsseldorf: VDI.
- Bernstorff, C. von, Stade, M. J. C. & Nachtwei, J. (2012). Milestones and stumbling blocks on the road to dynamic function allocation – An empirical approach to cooperative automation using a socially augmented lab system. In K. Lemmer

- (Hrsg.), *Proceedings of the 30th European Annual Conference on Human-Decision-Making and Manual Control, 11-12 September, Braunschweig* (Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik, Bd. 19, S. 137–142). Braunschweig: DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik.
- Bibby, K. S., Margulies, F., Rijnsdorp, J. E., Withers, R. M. J. & Makarow, I. M. (1975). Man's role in control systems. *Proceedings of the 6th IFAC World Congress, 24-30 August, Boston* (S. 4–12). Boston, MASS: International Federation of Automatic Control.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation automation. The search for a human-centered approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Billings, C. E., Lauber, J. K., Funkhouser, H., Lyman, G. & Huff, E. M. (1976). *Aviation safety reporting system* (Technical Report No. NASA-TM-X-3445). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.
- Billings, C. E. & Woods, D.D. (1994). Concerns about adaptive automation in aviation systems. In M. Mouloua & R. Parasuraman (Hrsg.), *Human performance in automated systems: Current research and trends* (S. 24–29). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Aufl.). Berlin: Springer.
- Boussemart, Y. & Cummings, M. L. (2011). Predictive models of human supervisory control behavioral patterns using hidden semi-Markov models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24 (7), 1252–1262.
- Brehmer, B. & Dörner, D. (1993). Experiments with computer-simulated microworlds: Escaping both the narrow straits of the laboratory and the deep blue sea of the field study. *Computers in Human Behavior*, 9 (2-3), 171–184.
- Bright, J. (1955). Does automation raise skill requirements? *Harvard Business Review*, 36, 85–98.
- Broadbent, D. E. (1958). The general nature of vigilance. In D. E. Broadbent (Hrsg.), *Perception and communication* (S. 108–139). Elmsford, NY: Pergamon Press.
- Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile [BEA] (2012). *Final report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France Flight AF447 Rio de Janeiro – Paris*. Zugriff am 30.01.14 <http://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf>
- Burkhard, H.-D., Jahn, L., Meyer, C., Muetterlein, J., Nachtwei, J., Niestroj, N. et al. (2011). Artificial subjects in the psychological experiment "Socially Augmented Microworld" (SAM). In M. Szczuka, L. Czaja, A. Skowron & M. Kacprzak (Hrsg.), *Proceedings of the International Workshop on Concurrency, Specification and Programming (CSP), 28-30 September, Pultusk* (S. 54–65). Biolystok, POL: Biolystok University of Technology.

- Bye, A., Hollnagel, E. & Brendeford, T. S. (1999). Human-machine function allocation: A functional modelling approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 64 (2), 291–300.
- Byrne, E. A. & Parasuraman, R. (1996). Psychophysiology and adaptive automation. *Biological Psychology*, 42 (3), 249–268.
- Cacioppo, J. T. & Petty, R. E. (1982). The need for cognition. *Journal of Personality and Social Psychology*, 42 (1), 116–131.
- Cacioppo, J. T., Petty, R. E. & Kao, F. C. (1984). The efficient assessment of need for cognition. *Journal of Personality Assessment*, 48 (3), 306–307.
- Calefato, C., Montanari, R. & Tesauri, F. (2008). The adaptive automation design. In K. Asai (Hrsg.), *Advances in human-computer interaction: New developments* (S. 141–154). Rijeka, CRO: InTech. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.5772/5878>
- Chapanis, A. (1970). Plenary Discussion: Relevance of physiological and psychological criteria to man-machine systems: The present state of the art. *Ergonomics*, 13 (3), 337–346.
- Christoffersen, K. & Woods, D. (2002). How to make automated systems team players. In E. Salas (Hrsg.), *Advances in human performance and cognitive engineering research* (2. Aufl.: Automation, S. 1–12). Amsterdam, NEL: Elsevier.
- Clamann, M. P. & Kaber, D. B. (2003). Authority in adaptive automation applied to various stages of human-machine system information processing. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 47 (3), 543–547.
- Cohen, J. (1982). Citation-Classic – Multiple regression as a general data-analytic system. *Citation Classics/Social and Behavioral Science*, 34, 18–18.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G. & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, A. R., Stotland, E. & Wolfe, D. M. (1955). An experimental investigation of need for cognition. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 51 (2), 291–294.
- Corradini, P. & Cacciari, C. (2002). The effect of workload and workshift on air traffic control: A taxonomy of communicative problems. *Cognition, Technology & Work*, 4 (4), 229–239.
- Cummings, M. L. & Thornburg, K. M. (2011). Paying attention to the man behind the curtain. *IEEE Pervasive Computing*, 10 (1), 58–62.
- Davis, M. J. (2010). Contrast coding in multiple regression analysis: Strengths, weaknesses, and utility of popular coding structures. *Journal of Data Science*, 8, 61–73.
- de Greef, T., E., Arciszewski, H.F. R. & Neerincx, M. A. (2010). Adaptive automation based on an object-oriented task model: Implementation and evaluation in a

- realistic C2 environment. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 4 (2), 152–182.
- de Visser, E. J., LeGoullon, M., Freedy, A., Freedy, E., Weltman, G. & Parasuraman, R. (2008). Designing an adaptive automation system for human supervision of unmanned vehicles: A bridge from theory to practice. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52 (4), 221–225.
- de Winter, J. C. F. & Dodou, D. (2011). Why the Fitts list has persisted throughout the history of function allocation. *Cognition, Technology & Work* 16, 1–11.
- Dekker, S. W. A. & Woods, D. D. (2002). MABA-MABA or abracadabra? Progress on human–automation co-ordination. *Cognition, Technology & Work*, 4 (4), 240–244.
- DiFonzo, N., Hantula, Donald, A. & Bordia, P. (1998). Microworlds for experimental research: Having your (control and collection) cake, and realism too. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 30 (2), 278–286.
- Doble, N. & Hansman, R. J. (2002). Experimental evaluation of portable electronic flight progress strips. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.), *Proceedings of the 21st Digital Avionics Systems Conference, 27-31 October, Irvine* (S. 7C2-1–7C2-8). New York, NY: IEEE.
- Dunckel, H. (1999). Leitfaden zur Konstrastiven Arbeitsanalyse (KABA). In H. Dunckel (Hrsg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (Mensch, Technik, Organisation, Bd. 14, S. 231–254). Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Dunckel, H. & Pleiss, C. (Hrsg.) (2007). *Kontrastive Aufgabenanalyse. Grundlagen, Entwicklungen und Anwendungserfahrungen*. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Durso, F. T., Hackworth, C. A., Truitt, T. R., Crutchfield, J. M., Nikolic, D. & Manning, C. A. (1998). Situation awareness as a predictor of performance for en route air traffic controllers. *Air Traffic Control Quarterly*, 6, 1–20.
- Emery, F. E. & Trist, E. (1960). Socio-technical Systems. In C. W. Churchman & M. Verhulst (Hrsg.), *Management sciences, models and techniques* (S. 83–97). Oxford, UK: Pergamon Press.
- Endsley, M. R. (1987). *SAGAT: A methodology for the measurement of situation awareness* (Technical Report No. NOR DOC 87-83). Hawthorne, CA: Northrop.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 32–64.
- Endsley, M. R. & Garland, D. J. (2000). *Situation awareness. Analysis and measurement*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M. R. & Jones, D. G. (1995). *Situation awareness requirements analysis for TRACON air traffic control* (Technical Report No. TTU-IE-95-01). Atlantic City, NJ: Technology Center, Federal Aviation Administration.
- Endsley, M. R. & Jones, D. G. (2011). *Designing for situation awareness. An approach to user-centered design* (2. Aufl.). Boca Raton, FL: CRC Press.

- Endsley, M. R. & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42 (3), 462–492.
- Endsley, M. R. & Kiris, E. O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, 37 (2), 381–394.
- Erdfelder, E., Faul, F. & Buchner, A. (1996). GPOWER: A general power analysis program. *Behavior research methods, instruments & computers*, 28 (1), 1–11.
- Faul, F. & Erdfelder, E. (1992). GPOWER: A priori, post-hoc, and compromise power analyses for MS-DOS [Computer software]. Bonn: Universität Bonn, Fachbereich Psychologie.
- Feigh, K. M., Dorneich, M. C. & Hayes, C. C. (2012). Toward a characterization of adaptive systems: A framework for researchers and system designers. *Human Factors*, 54 (6), 1008–1024.
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS*. (ISM. Introducing Statistical Methods) (3. Aufl.) London, UK: SAGE.
- Fitts, P. M. (Hrsg.) (1951). *Human engineering for an effective air navigation and traffic control system*. Washington, DC: National Research Council, Committee on Aviation Psychology.
- Flemisch, F. O., Adams, C. A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T. & Schutte, P. (2003). *The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction* (Technical Report No. NASA/TM-2003-212672). Hampton, VA: NASA Langley Research Center.
- Flemisch, F. O., Heesen, M., Hesse, T., Kelsch, J., Schieben, A. & Beller, J. (2012). Towards a dynamic balance between humans and automation: Authority, ability, responsibility and control in shared and cooperative control situations. *Cognition, Technology & Work*, 14 (1), 3–18.
- Flemisch, F. O., Kelsch, J., Löper, C., Schieben, A. & Schindler, J. (2008). Automation spectrum, inner / outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation. In D. de Waard (Hrsg.), *Human factors for assistance and automation* (S. 1–16). Maastricht, NEL: Shaker Publishing.
- Flemisch, F. O., Kelsch, J., Löper, C., Schieben, A., Schindler, J. & Heesen, M. (2008). Cooperative control and active interfaces for vehicle assistance and automation. *Proceedings of the FISITA World Automotive Congress, 14.-19. September, München* (2008-02-045). Düsseldorf: VDI.
- Flemisch, F. O., Kelsch, J., Schieben, A. & Schindler, J. (2006). Stücke des Puzzles hochautomatisiertes Fahren: H-Metapher und H-Mode. In C. Stiller & M. Maurer (Hrsg.), *4. Workshop Fahrerassistenzsysteme, 4.-6. Oktober, Löwenstein/Höflinsülz* (S. 60–69). Karlsruhe: Freundeskreis Mess-und Regelungstechnik Karlsruhe e.V.
- Flemisch, F. O., Kelsch, J., Schieben, A., Schindler, J., Löper, C. & Schomerus, J. (2007). Prospective engineering of vehicle automation with design metaphors:

- Intermediate report from the H-Mode projects. In M. Rötting, G. Wozny, A. Klostermann & J. Huss (Hrsg.), *Tagungsband der 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 10.-12. Oktober, Berlin* (S. 173–178). Düsseldorf: VDI.
- Frazier, P. A., Tix, A. P. & Barron, K. E. (2004). Testing moderator and mediator effects in counseling psychology research. *Journal of Counseling Psychology*, 51 (1), 115–134.
- Funk, H. & Miller, C. (2001). *User acceptance and plan recognition. Why even perfect intent inferencing might not be good enough* (Technical Report No. FS-01-05). North Falmouth, MA: American Association for Artificial Intelligence.
- Gérard, N., Huber, S., Nachtwei, J., Schubert, U. & Satriadarma, B. (2011). A framework for designers to support prospective design of human computer interaction. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2 (7), 17–38.
- Gonzalez, C. (2004). Learning to make decisions in dynamic environments: Effects of time constraints and cognitive abilities. *Human Factors*, 46 (3), 449–460.
- Gonzalez, C., Lerch, F. J. & Lebiere, C. (2003). Instance-based learning in dynamic decision making. *Cognitive Science*, 27 (4), 591–635.
- Green, S. B. (1991). How many subjects does it take to do a regression analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 26 (3), 499–510.
- Griffiths, P. G. & Gillespie, R. B. (2005). Sharing control between humans and automation using haptic interface: Primary and secondary task performance benefits. *Human Factors*, 47 (3), 574–590.
- Gross, B. & Nachtwei, J. (2007). How to develop and use assistance systems efficiently – Using the microworld as a method to acquire knowledge for developers and operators. In D. de Waard (Hrsg.), *Human factors issues in complex system performance* (S. 345–350). Maastricht. NEL: Shaker Publishing.
- Grote, G. (1997). *Autonomie und Kontrolle. Zur Gestaltung automatisierter und risikoreicher Systeme*. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Hacker, W. & Ulich, E. (1986). *Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten; Neufassung von „Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie“* (Schriften zur Arbeitspsychologie, Bd. 41, Neufassung, 1. Aufl.). Bern: Huber.
- Hakuli, S., Bruder, R., Flemisch, F., Löper, C., Rausch, H., Schreiber, M. et al. (2009). Kooperative Automation. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 647–656). Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Hale, A., Kirwan, B. & Kjellén, U. (2007). Safe by design: Where are we now? *Safety Science*, 45 (1-2), 305–327.
- Hammer, J. M. & Small, R. L. (1995). An intelligent interface in an associate system. In W. B. Rouse (Hrsg.), *Human/Technology Interaction in Complex Systems* (Bd. 7, S. 1-44). Greenwich, CT: JAI Press.

- Hancock, P. A. (1997). *Hours of boredom, moments of terror – Or months of monotony, milliseconds of mayhem*. Paper presented at the 9th International Symposium on "Aviation Psychology", Columbus, OH.
- Hancock, P. A. (2007). The effects of automation invocation procedure and dynamic display relocation on performance in a multi-task environment. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Humans and Systems*, 37 (1), 47–57.
- Hancock, P. A. & Scallen, S. F. (1997). Triggering dynamic function allocation. *Ergonomics in Design*, 5 (3), 5–6.
- Hancock, P. A. & Scallen, S. F. (1998). Allocating functions in human–machine systems. In R. R. Hoffman, M. F. Sherrick & J. S. Warm (Hrsg.), *Viewing psychology as a whole: The integrative science of William N. Dember* (S. 509–539). Washington, DC: American Psychological Association.
- Hancock, P. A. & Scallen, S. F. (2001). Implementing adaptive function allocation. *International Journal of Aviation Psychology*, 11 (2), 197–221.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of a multidimensional workload rating scale: Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (Advances in Psychology, Bd. 52, S. 139–183). Amsterdam, NEL: Elsevier.
- Hart, S. G. & Wempe, T. E. (1979). *Cockpit display of traffic information: Airline pilots opinions about content, symbology, and format* (Technical Report No. NASA/TM-78601). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.
- Hauss, Y. & Timpe, K.-P. (2000). Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In K.-P. Timpe, T. Juergensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine Systemtechnik-Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation* (S. 41–62). Düsseldorf: Symposion.
- Heesen, M., Kelsch, J., Löper, C. & Flemisch, F. O. (2010). Haptisch-multimodale Interaktion für hochautomatisierte, kooperative Fahrzeugführung bei Fahrstreifenwechsel-, Brems- und Ausweichmanövern. In Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig (GZVB) (Hrsg.), *Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET)*, 1.-11. Februar, Braunschweig (S. 24–44). Braunschweig: Intelligente Transport- und Verkehrssysteme und -dienste Niedersachsen.
- Hilburn, B., Molloy, R., Wong, D. & Parasuraman, R. (1993). Operator versus computer control of adaptive automation. In R. S. Jensen, D. Neumeister, P. MacCartney & S. Riggs (Hrsg.), *Proceedings of the 7th International Symposium on Aviation Psychology, 26-29 April, Columbus* (S. 161–166). Columbus, OH: Ohio State University, Department of Aviation.
- Hilburn, B., Parasuraman, R. & Mouloua, M. (1995). Effects of short- and long-cycle adaptive function allocation on performance of flight-related tasks. In N. Johnston, R. Fuller & N. McDonald (Hrsg.), *Aviation psychology: Training and selection* (S. 347–353). Aldershot, UK: Ashgate Publishing.

- Hildebrandt, M. & Harrison, M. (2002). The temporal dimension of dynamic function allocation. In S. Bagnara, S. Pozzi, A. Rizzo & P. Wright (Hrsg.), *Proceedings of the 11th European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE 11): Cognition, Culture and Design, 8-11 September, Catania* (S. 283–292). Rome, ITA: Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione.
- Hildebrandt, M., Kain, S., Kesselring, K., Nachtwei, J., Niestroj, N. & Schwarz, H. (2010). Die hierarchische Aufgabenanalyse im Babel interdisziplinärer Softwareentwicklungsprojekte. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 2010 (4), 374–380.
- Hoc, J.-M. (2001). Towards a cognitive approach to human–machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54 (4), 509–540.
- Hoc, J.-M. (2007). Human and Automation: A matter of cooperation. In A. Pruski (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Human-Machine Interaction (Human'07), 12-14 March, Timimoun* (S. 277–285). Timimoun, ALG: Université de Metz.
- Hoc, J. M. & Debernard, S. (2002). Respective demands of task and function allocation on human-machine cooperation design: A psychological approach. *Connection Science* 14 (4), 283–295.
- Hollnagel, E. (1989). *The reliability of expert systems*. Chichester, UK: Ellis Horwood.
- Hollnagel, E. (1999). From function allocation to function congruence. In S. Dekker & E. Hollnagel (Hrsg.), *Coping with computers in the cockpit* (S. 29–53). Aldershot, UK: Ashgate Publishing.
- Hollnagel, E. & Bye, A. (2000). Principles for modelling function allocation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52 (2), 253–265.
- Hollnagel, E. & Woods, D. D. (1983). Cognitive Systems Engineering: New wine in new bottles. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18 (6), 583–600.
- Huang, Y. H., Rötting, M., McDevitt, J. R., Melton, D. & Courtney, T. (2005). In-vehicle safety feedback – Driver perspectives suggest technology has promise for improving safe driving behaviors. *Professional Safety*, 50 (1), 20–27.
- Inagaki, T. (2003). Adaptive automation: Sharing and trading of control. In E. Hollnagel (Hrsg.), *Handbook of Cognitive Task Design* (Human Factors and Ergonomics, S. 147–169). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Inagaki, T. (2010). Traffic systems as joint cognitive systems: Issues to be solved for realizing human-technology coagency. *Cognition, Technology & Work*, 12 (2), 153–162.
- Inagaki, T. (2012). Special Issue on human-automation coagency. *Cognition, Technology & Work*, 14 (1), 1–2.
- Inagaki, T. & Sheridan, T. B. (2012). Authority and responsibility in human–machine systems: Probability theoretic validation of machine-initiated trading of authority. *Cognition, Technology & Work*, 14 (1), 29–37.

- Jamieson, G. A. & Vicente, K. J. (2005). Designing effective human-automation-plant interfaces: A control-theoretic perspective. *Human Factors*, 47 (1), 12–34.
- Jordan, N. (1963). Allocation of functions between man and machines in automated systems. *Journal of Applied Psychology*, 47 (3), 161–165.
- Kaber, D. B. & Endsley, M. R. (2004). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5 (2), 113–153.
- Kaber, D. B., Perry, C. M., Segall, N., McClermon, C. K. & Prinzel, L. J. (2006). Situation awareness implications of adaptive automation for information processing in an air traffic control-related task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36 (5), 447–462.
- Kaber, D. B. & Riley, J. M. (1999). Adaptive automation of a dynamic control task based on secondary task workload measurement. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 3 (3), 169–187.
- Kaber, D. B., Riley, J. M., Tan, K.-W. & Endsley, M. R. (2001). On the design of adaptive automation for complex systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5 (1), 37–57.
- Kaber, D. B., Wright, M. C., Prinzel, L. J. & Clamann, M. P. (2005). Adaptive automation of human-machine system information-processing functions. *Human Factors*, 47 (4), 730–741.
- Karrner, K. & Rötting, M. (2007). Effects of driver fatigue monitoring – An expert survey. In D. Harris (Hrsg.), *Proceedings of the 12th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2007), 22-27 July, Beijing* (Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, Lecture Notes in Computer Science, Bd. 4562, S. 324–330). Berlin: Springer.
- Kelsch, J., Flemisch, F. O., Löper, C., Schieben, A. & Schindler, J. (2006). Links oder rechts, schneller oder langsamer? Grundlegende Fragestellungen beim Cognitive Systems Engineering von hochautomatisierter Fahrzeugführung. In M. Grandt & A. Bauch (Hrsg.), *Bericht zur 48. Fachausschusssitzung Anthropotechnik, 24.-25. Oktober, Karlsruhe* (Cognitive Systems Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung, S. 227–240). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Kelsch, J., Heesen, M., Löper, C. & Flemisch, F. (2009). Balancierte Gestaltung kooperativer multimodaler Bedienkonzepte für Fahrerassistenz und Automation: H-Mode beim Annähern, Notbremsen, Ausweichen. In A. Lichtenstein, C. Stöbel, & C. Clemens (Hrsg.), *Tagungsband der 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 7.-9. Oktober, Berlin* (S. 278–281). Düsseldorf: VDI.
- Kienle, M., Damböck, D., Kelsch, J., Flemisch, F. & Bengler, K. (2009). Towards an H-Mode for highly automated vehicles: Driving with side sticks. In A. Schmidt, A. Dey, T. Seder & O. Juhlin (Hrsg.), *Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular*

- Applications, 21-22 September, Essen* (S. 19–23). New York, NY: ACM. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1145/1620509.1620513>
- Kindsmüller, M. C. (2006). *Trend-Literacy – Zur Interpretation von Kurvendarstellungen in der Prozessführung*. Aachen: Shaker Verlag.
- Kindsmüller, M. C. & Urbas, L. (2002). Der Einfluss von Modellwissen auf die Interpretation von Trenddarstellungen bei der Steuerung prozesstechnischer Anlagen. In M. Grandt & K. Gärtner (Hrsg.), *Situation Awareness in der Fahrzeug- und Prozessführung* (S. 131–152). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Kirchner, J.-H. (1972). *Arbeitswissenschaftlicher Beitrag zur Automatisierung – Analyse und Synthese von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth-Vertrieb.
- Kirlik, A. (1993). Modeling strategic behavior in human-automation interaction: Why an ‘aid’ can (and should) go unused. *Human Factors*, 35 (2), 221–242.
- Klein, G., Woods, D. D., Bradshaw, J. M., Hoffman, R. R. & Feltovich, P. J. (2004). Ten challenges for making automation a "team player" in joint human-agent activity. *IEEE Intelligent Systems*, 19 (06), 91–95.
- Kleiner, B. M. (2008). Macroergonomics: Work system analysis and design. *Human Factors*, 50 (3), 461–467.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Kraiss, K.-F. (1985). *Fahrzeug- und Prozessführung. Kognitives Verhalten des Menschen und Entscheidungshilfen* (Fachberichte Messen, Steuern, Regeln, Bd. 11). Berlin: Springer.
- Kraiss, K.-F. (1990). Entscheidungshilfen in hochautomatisierten systemen. In C. G. Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (Enzyklopaedie der Psychologie, Bd. 2, S. 455–476). Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Krinner, C. & Groß, B.-U. (2005) Arbeitsteilung zwischen Entwicklern und Operateuren von Mensch-Maschine-Systemen: Eine neue Perspektive auf Funktionsteilung in Mensch-Maschine-Systemen. In C. Steffens (Hrsg.), *Forschungsbericht der Frühjahrsschule des ZMMS* (S. 13–14). Berlin: Technische Universität Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme.
- Kurbalija, V., Burkhard, H., Ivanovic, M., von Bernstorff, C., Nachtwei, J. & Fodor, L. (2012). Time series mining in a psychological domain. In Z. Budimac, M. Ivanović & M. Radovanović (Hrsg.), *Proceedings of the 5th Balkan Conference in Informatics (BCI), 16-20 September, Novi Sad* (S. 58–63). New York, NY: ACM. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1145/2371316.2371328>
- Kurbalija, V., von Bernstorff, C., Nachtwei, J., Ivanovic, M. & Burkhard, H.-D. (2014). Matching observed with empirical reality – What you see is what you get? *Fundamenta Informaticae*, 129, 1–15.
- Lanc, O. (1975). *Ergonomie* (Urban Taschenbücher, Bd. 197). Stuttgart: Kohlhammer.

- Langan-Fox, J., Canty, J. M. & Sankey, M. J. (2009). Human-automation teams and adaptable control for future air traffic management. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 (5), 894–903.
- Lee, J. D. (2008). Review of a pivotal human factors article: "Humans and automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse". *Human Factors* 50 (3), 404–410.
- Lee, J. & Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35 (10), 1243–1270.
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors* 46 (1), 50–80.
- Lei, S., Zhang J. & Rötting M. (2011). A closed-loop for driver mental state monitoring based on EEG signals. In D. de Waard, N. Gérard, L. Onnasch, R. Wiczorek, & D. Manzey (Hrsg.), *Human centred automation* (S. 351–365). Maastricht, NEL: Shaker Publishing.
- Lemoine, M. P., Debernard, S. & Millot, P. (1995). Men-machines cooperation: Toward a more cooperative assistance in air traffic control. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 22-25 October, Vancouver* (Intelligent Systems for the 21st Century, Bd. 5, S. 1503–1508). New York, NY: IEEE.
- Lenz, A. & Onken, R. (2000). *Pilot's assistant in tactical transport missions – Crew Assistant Military Aircraft CAMA*. Paper presented at the RTO HFM Symposium on the "Usability of Information in Battle Management Operations" (RTO-MP-57), Oslo, Norway.
- Leotti, L. A., Iyengar, S. S. & Ochsner, K. N. (2010). Born to choose: The origins and value of the need for control. *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (10), 457–463.
- Lif, M. (1999). User-interface modeling – Adding usability to use cases. *International Journal of Human-Computer Studies*, 50 (3), 243–262.
- Löper, C., Kelsch, J. & Flemisch, F. O. (2008). Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren. In Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig (GZVB) (Hrsg.), *Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET)* (S. 215–237). Braunschweig: Intelligente Transport- und Verkehrssysteme und -dienste Niedersachsen.
- Lorenz, B., Di Nocera, F., Röttger, S. & Parasuraman, R. (2002). Automated fault-management in a simulated spaceflight micro-world. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 73 (9).
- Madni, A. (1988). The role of human factors in expert systems design and acceptance. *Human Factors* 30 (4), 395–414.
- Manzey, D. & Bahner, J. E. (2005). Vertrauen in Automation als Aspekt der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen. In K. Karrer, B. Gauss & C.

- Steffens (Hrsg.), *Beiträge zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis* (S. 93–109). Düsseldorf: Symposion.
- Manzey, D., Bleil, M., Bahner-Heyne, J. E., Klostermann, A., Onnasch, L., Reichenbach, J. et al. (2008). *AutoCAMS 2.0. Manual* (Berichte aus dem Fachgebiet Arbeits-, Ingenieur- und Organisationspsychologie der TU Berlin). Berlin: Technische Universität Berlin.
- Manzey, D., Reichenbach, J. & Onnasch, L. (2008). Performance consequences of automated aids in supervisory control: The impact of function allocation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52 (4), 297–301.
- Manzey, D., Reichenbach, J. & Onnasch, L. (2012). Human performance consequences of automated decision aids: The impact of degree of automation and system experience. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 6 (1), 57–87.
- Marsden, G., McDonald, M. & Brackstone, M. (2001). Towards an understanding of adaptive cruise control. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 9 (1), 33–51.
- Mathieu, J. E., Heffner, T. S., Goodwin, G. F., Salas, E. & Cannon-Bowers, J. A. (2000). The influence of shared mental models on team process and performance. *Journal of Applied Psychology*, 85 (2), 273–283.
- Meister, D. (1985). *Behavioral analysis and measurement methods*. New York: Wiley.
- Meister, D. (1999). *The history of Human Factors and Ergonomics*. Hoboken: Taylor & Francis.
- Metzger, U. & Parasuraman, R. (2005). Automation in future air traffic management: Effects of decision aid reliability on controller performance and mental workload. *Human Factors*, 47 (1), 35–49.
- Meyer, C. (2009). *Der moderierende Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen auf die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren in komplexen Mensch-Maschine-Systemen*. Diplomarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Meyer, C., Nachtwei, J. & Kain, S. (2009). Der moderierende Effekt von Persönlichkeitsmerkmalen auf die Leistung von Operateuren bei der Prozessführung und -überwachung in komplexen Mensch-Maschine-Systemen. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), *Tagungsband der 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 7.-9. Oktober, Berlin* (S. 185–190). Düsseldorf: VDI.
- Miller, C. A., Funk, H., Goldman, R., Meisner, J. & Wu, P. (2005). Implications of adaptive vs. adaptable UIs on decision making: Why “automated adaptiveness” is not always the right answer. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.), *Proceedings of the 1st International Conference on Augmented Cognition, 22-25 July, Las Vegas*. New York, NY: IEEE.

- Miller, C. A., Funk, H., Wu, P., Goldman, R., Meisner, J. & Chapman, M. (2005). The PlaybookTM approach to adaptive automation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 49 (1), 15–19.
- Miller, C. A., Guerlain, S. & Hannen, M. D. (1999). *The rotorcraft pilot's associate cockpit information manager: Acceptable behavior from a new crew member*. Paper presented at the American Helicopter Society 55th Annual Forum, Montreal, Canada.
- Miller, C. A. & Parasuraman, R. (2007). Designing for flexible interaction between humans and automation: Delegation interfaces for supervisory control. *Human Factors*, 49 (1), 57–75.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63 (2), 81–97.
- Miyake, S., Loslever, P. & Hancock, P. A. (2001). Individual differences in tracking. *Ergonomics*, 44 (12), 1056–1068.
- Moray, N., Inagaki, T. & Itoh, M. (2000). Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6 (1), 44–58.
- Morphew, M. E. & Wickens, C. D. (1998). Pilot performance and workload using traffic displays to support free flight. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42 (1), 52–56.
- Morrison, J. G. & Gluckman, J. P. (1994). Definitions and prospective guidelines for the application of adaptive automation. In M. Mouloua & R. Parasuraman (Hrsg.), *Human performance in automated systems: Current research and trends* (S. 256–263). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Nachreiner, F., Nickel, P. & Meyer, I. (2006). Human factors in process control systems: The design of human–machine interfaces. *Safety Science*, 44 (1), 5–26.
- Nachtwei, J. (2011a). The many faces of human operators in process control: A framework of analogies. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 12 (4), 297–317.
- Nachtwei, J. (2011b). *Design and evaluation of a supervisory control lab system for automation research – A theoretical and empirical contribution to the discussion on function allocation*. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Neumann, J. & Timpe, K.-P. (1976). *Psychologische Arbeitsplatzgestaltung*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Niestroj, N. (eingereicht). *Entwicklung von Automatiken für Mensch-Maschine-Systeme und Ergebnisse ihres Einsatzes*. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Norman, D. A. (1984). Stages and levels in human-machine interaction. *International Journal of Man-Machine Studies*, 21 (4), 365–375.
- Norman, D. A. (2007). *The design of future things*. New York, NY: Basic Books.

- O'Hara, J.M. & Brown, W.S., 2002. *The effects of interface management tasks on crew performance and safety in complex, computer-based systems: Overview and main findings* (Technical Report No. NUREG/CR-6690, Bd. 1). Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission, Division of Systems Analysis and Regulatory Effectiveness.
- Onnasch, L., Wickens, C. D., Li, H. & Manzey, D. (2014). Human performance consequences of stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. *Human Factors*, 56 (3), 476–488.
- Oppermann, R. (Hrsg.) (1994). *Adaptive user support. Ergonomic design of manually and automatically adaptable software*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Oppermann, R. (2002). User-interface design. In H. H. Adelsberger, B. Collis & J. M. Pawlowski (Hrsg.), *Handbook on information technologies for education and training* (International handbooks on information systems, S. 233–248). New York, NY: Springer.
- Oppermann, R. & Simm, H. (1994). Adaptability: User-initiated individualization. In R. Oppermann (Hrsg.), *Adaptive user support. Ergonomic design of manually and automatically adaptable software* (Computers, Cognition, and Work, S. 14–66). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Parasuraman, R. (2000). Designing automation for human use: Empirical studies and quantitative models. *Ergonomics*, 43 (7), 931-951.
- Parasuraman, R., Bahri, T., Molloy, R. & Singh, I. L. (March 1992). *Adaptive automation and human performance. II. Effects of shifts in the level of automation on operator performance*. Washington, DC: Catholic University of America, Cognitive Science Lab.
- Parasuraman, R., Barnes, M. & Cosenzo, K. (2007). Adaptive automation for human-robot teaming in future command and control systems. *International Journal of Command and Control*, 1 (2), 43–68.
- Parasuraman, R. & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human Factors*, 52 (3), 381–410.
- Parasuraman, R., Molloy, R. & Singh, I. L. (1993). Performance consequences of automation-induced 'complacency'. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3 (1), 1–23.
- Parasuraman, R., Mouloua, M. & Molloy, R. (1996). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. *Human Factors*, 38 (4), 665–679.
- Parasuraman, R., Mouloua, M., Molloy, R. & Hilburn, B. (1993) Adaptive function allocation reduces performance costs of static automation. In R. S. Jensen, D. Neumeister, P. MacCartney & S. Riggs (Hrsg.), *Proceedings of the 7th International Symposium on Aviation Psychology* (S. 178–181). Columbus, OH: Ohio State University, Department of Aviation.

- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors*, 39 (2), 230–253.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, 30 (3), 286–297.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2008). Situation awareness, mental workload, and trust in automation: Viable, empirically supported cognitive engineering constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2 (2), 140–160.
- Parasuraman, R. & Wickens, C. D. (2008). Humans: Still vital after all these years of automation. *Human Factors*, 50 (3), 511–520.
- Parent, M. (2007). Advanced urban transport: Automation is on the way. *IEEE Intelligent Systems* (22) 2, 9–11.
- Parsons, H. M. (1981). *Automation and Engineering Psychology. A look to the future*, Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.
- Price, H. E. (1985). The allocation of functions in systems. *Human Factors*, 27 (1), 33–45.
- Prinzel, L. J., Freeman, F. G., Scerbo, M. W., Mikulka, P. J. & Pope, A. T. (2000). A closed-loop system for examining psychophysiological measures for adaptive task allocation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 10 (4), 393–410.
- Rasmussen, J. (1981). Models of mental strategies in process plant diagnosis. In J. Rasmussen & W. Rouse (Hrsg.), *Human Detection and Diagnosis of System Failures* (NATO Conference Series, Bd. 15, S. 241–258). New York, NY: Springer Press.
- Reason, J. T. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot, UK: Ashgate Publishing.
- Reason, J. (1998). Achieving a safe culture: Theory and practice. *Work & Stress*, 12 (3), 293–306.
- Rieger, C. & Greenstein, J. (1983). The effects of dialogue-based task allocation on system performance in a computer-aided air traffic control task. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 15 (2), 208–212.
- Rötting, M., Huang, Y.-H., McDevitt, J. R. & Melton, D. (2003). When technology tells you how you drive – Truck drivers’ attitudes towards feedback by technology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6 (4), 275–287.
- Rötting, M., Huang, Y.-H., McDevitt, J. R. & Melton, D. (2004). Einstellung von LKW-Fahrern zu maschinell generiertem Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens. In VDI (Hrsg.), *Tagungsband der Useware 2004 – Nutzergerechte Gestaltung Technischer Systeme*, 22-23. Juni, Darmstadt (S. 109–116). Düsseldorf: VDI.

- Rognin, L., Salembier, P. & Zouinar, M. (2000). Cooperation, reliability of socio-technical systems and allocation of function. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52 (2), 357–379.
- Roth, E. M., Bennett, K. B. & Woods, D. D. (1987). Human interaction with an “intelligent” machine. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27 (5–6), 479–525.
- Rouse, W. B. (1976). Adaptive allocation of decision making responsibility between supervisor and computer. In T. B. Sheridan & G. Johanness (Hrsg.), *Monitoring behavior and supervisory control* (NATO conference series, Bd. 1, S. 295–306). New York, NY: Springer.
- Rouse, W. B. (1977). Human-computer interaction in multitask situations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, 7 (5), 384–392.
- Rouse, W. B. (1988a). Adaptive aiding for human/computer control. *Human Factors*, 30 (4), 431–443.
- Rouse, W. B. (1988b). Adaptive interfaces for human/computer control. *Human Factors*, 30, 431–488.
- Rouse, W. B. (1991). *Design for success. A human-centered approach to designing successful products and systems* (Wiley series in Systems Engineering). New York, NY: Wiley.
- Rouse, W. B. (1994). Twenty years of adaptive aiding. Origins of the concept and lessons learned. In M. Mouloua & R. Parasuraman (Hrsg.), *Human performance in automated systems: Current research and trends* (S. 28–32). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rouse, W., Geddes, N. & Curry, R. (1987). An architecture for intelligent interfaces: Outline of an approach to supporting operators of complex systems. *Human-Computer Interaction*, 3 (2), 87–122.
- Sapateiro, C., Ferreira, A. & Antunes, P. (2011). Evaluating the use of mobile devices in critical incidents response: A microworld approach. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.), *Proceedings of the 20th International Workshop On Enabling Technologies: Infrastructure For Collaborative Enterprises (WETICE)*, 27-29 June, Paris (S. 327–333). New York, NY: IEEE.
- Sarter, N. B. (2006). Multimodal information presentation: Design guidance and research challenges. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36 (5), 439–445.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode Error and Awareness in Supervisory Control. *Human Factors*, 37 (1), 5–19.
- Sarter, N. B., Woods, D. D. & Billings, C. E. (1997). Automation Surprises. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (S. 1926–1943). New York, NY: Wiley.
- Sasou, K. & Reason, J. (1999). Team errors: Definition and taxonomy. *Reliability Engineering & System Safety*, 65 (1), 1–9.

- Sauer, J., Kao, C.-S. & Wastell, D. (2012). A comparison of adaptive and adaptable automation under different levels of environmental stress. *Ergonomics*, 55 (8), 840–853.
- Sauer, J., Kao, C.-S., Wastell, D. & Nickel, P. (2011). Explicit control of adaptive automation under different levels of environmental stress. *Ergonomics*, 54 (8), 755–766.
- Sauer, J., Nickel, P. & Wastell, D. (2013). Designing automation for complex work environments under different levels of stress. *Applied Ergonomics*, 44 (1), 119–127.
- Sauer, J., Wastell, D. & Hockey, G. R. J. (2000). A conceptual framework for designing micro-worlds for complex work domains: a case study of the Cabin Air Management System. *Computers in Human Behavior*, 16, 45–58.
- Save, L. & Feuerberg, B. (2012). Designing human-automation interaction: A new level of automation taxonomy. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey et al. (Hrsg.), *Human Factors: a view from an integrative perspective. Proceedings of the HFES Europe Chapter Conference, 10-12 October, Toulouse* (S. 43–56). Retrieved January 2014 from: <http://hfes-europe.org> (ISBN 978-0-945289-44-9).
- Scallan, S. F. & Hancock, P. A. (2001). Implementing adaptive function allocation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 11 (2), 197–221.
- Scallan, S. F., Hancock, P. A. & Duley, J. A. (1995). Pilot performance and preference for short cycles of automation in adaptive function allocation. *Applied Ergonomics*, 26 (6), 397–403.
- Scerbo, M. W. (1994). Implementing adaptive automation in aviation: The pilot-cockpit team. In M. Mouloua & R. Parasuraman (Hrsg.), *Human performance in automated systems: Current research and trends* (S. 249–255). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Scerbo, M. W. (1996). Theoretical perspectives on adaptive automation. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Hrsg.), *Automation and human performance: Theory and applications* (S. 37–63). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Scerbo, M. W. (2006). Adaptive automation. In W. Karwowski (Hrsg.), *International encyclopedia of ergonomics and human factors* (2. Aufl., S. 1893–1896). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Schmidt, R. A. (1993). Unintended acceleration: Human performance considerations. In B. Peacock & W. Karwowski (Hrsg.), *Automotive Ergonomics* (S. 431–451). London, UK: Taylor & Francis.
- Schulze, S. (2012). *Die Integration von Automatiken in das ATEO Master Display*. Diplomarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Scott, W. B. (1999). Automatic GCAS: ‘You can’t fly any lower’. *Aviation Week & Space Technology*, 76–79.

- Sheridan, T. B. (1988). Task allocation and supervisory control. In M. Helander (Hrsg.), *Handbook of Human-Computer Interaction* (1. Aufl., S. 159–173). Amsterdam, NEL: Elsevier.
- Sheridan, T. B. (1997). Supervisory control. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors* (S. 1295–1327). New York: Wiley.
- Sheridan, T. B. (2000). Function allocation: Algorithm, alchemy or apostasy? *International Journal of Human-Computer Studies*, 52 (2), 203–216.
- Sheridan, T. B. (2002). *Humans and automation. System design and research issues* (HFES Issues in Human Factors and Ergonomics series, Bd. 3). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Sheridan, T. B. & Parasuraman, R. (2005). Human-automation interaction. *Reviews of Hum Factors and Ergonomics*, 1 (1), 89–129.
- Sheridan, T. B. & Verplank, W. (1978). *Human and computer control of undersea teleoperators*. Cambridge, MA: Man-Machine Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering.
- Sherman, P., Hines, W. & Helmreich, R. (1997). The risks of automation: Some lessons from aviation, and implications for training and design. In C. Johnson (Hrsg.), *Proceedings of the Workshop on Human Error and Systems Development, 19-22 March, Glasgow* (S. 133–138). Glasgow, SCO: University of Glasgow.
- Skjerve, A. B. M. & Skraaning, G. (2004). The quality of human-automation cooperation in human-system interface for nuclear power plants. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61 (5), 649–677.
- Stade, M. J. C., Meyer, C., Niestroj, N. & Nachtwei, J. (2011a). Ergonomische Gestaltung trotz oder aufgrund interdisziplinärer Teamarbeit? In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Ergonomie im interdisziplinären Gestaltungsprozess* (S. 1–16). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Stade, M. J. C., Meyer, C., Niestroj, N. & Nachtwei, J. (2011b). (Not) everybody's darling: Value and prospects of multiple linear regression analysis and assumption checking. In B. Krause, R. Beyer & G. Kaul (Hrsg.), *Empirische Evaluationsmethoden* (Bd. 15, S. 17–34). Berlin: Zentrum für empirische Evaluationsmethoden.
- Stade, M. J. C., von Bernstorff, C. & Nachtwei, J. (2013). Forward-looking: Measuring attention allocation for evaluating supervisory control in a complex and dynamic lab system. In: S. Narayanan (Hrsg.), *Proceedings of the 12th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, 11-15 August, Las Vegas* (IFAC Proceedings Volumes, Bd. 12, S. 157–164). Las Vegas: Elsevier, IFAC. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.3182/20130811-5-US-2037.00002>
- Stanton, N. A., Young, M. & McCoulter, B. (1996). Drive-by-wire: The case of driver workload and reclaiming control with adaptive cruise control. *Safety Science*, 27.

- Svenson, O. (1981). Are we all less risky and more skillful than our fellow drivers? *Acta Psychologica*, 47 (2), 143–148.
- Szalma, J. L. & Taylor, G. S. (2011). Individual differences in response to automation: The five factor model of personality. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17 (2), 71–96.
- Tarnowski, E. (2002). *Cockpit automation philosophy*. Paper presented at the RTO HFM Symposium on "The Role of Humans in Intelligent and Automated Systems" (RTO-MP-088), Warsaw, Poland.
- Tattersall, A. J. & Hockey, G. R. J. (2008). Demanding work, technology, and human performance. In N. Chmiel (Hrsg.), *An introduction to work and organizational psychology. A European perspective* (2., neu bearbeitete Aufl., S. 169–189). Malden, MASS: Blackwell.
- Urban, D. & Mayerl, J. (2008). *Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung*. Wiesbaden: VS, Verlag für Sozialwissenschaften.
- van Wissen, A., Gal, Y., Kamphorst, B. A. & Dignum, M. V. (2012). Human-agent teamwork in dynamic environments. *Computers in Human Behavior*, 28 (1), 23–33.
- Vanderhaegen, F. (2012). Cooperation and learning to increase the autonomy of ADAS. *Cognition, Technology & Work*, 14 (1), 61–69.
- Vicente, K. J. (1999). *Cognitive work analysis. Toward safe, productive, and healthy computer-based work*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Viviani, P., Campadelli, P. & Mounoud, P. (1987). Visuo-manual pursuit tracking of human two-dimensional movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13 (1), 62–78.
- Vogel-Heuser, V., Schweizer, K., Burgeler, A., Fuchs, Y. & Pantförder, D. (2007). Auswirkungen einer dreidimensionalen Prozessdatenvisualisierung auf die Fehlererkennung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (61), 23–24.
- Volpert, W. (1990). Welche Arbeit ist gut für den Menschen? Notizen zum Thema Menschenbild und Arbeitsgestaltung. In F. Frei & I. Udris (Hrsg.), *Das Bild der Arbeit* (S. 23–40). Bern: Huber.
- Wäfler, T., Grote, G., Windischer, A. & Ryser, C. (2003). KOMPASS. A method for complementary system design. In E. Hollnagel (Hrsg.), *Handbook of Cognitive Task Design* (S. 477–502). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wandke, H. (2005). Assistance in human–machine interaction: A conceptual framework and a proposal for a taxonomy. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6 (2), 129–155.
- Wandke, H. & Nachtwei, J. (2008). The different human factor in automation: The developer behind vs. the operator in action. In D. de Waard (Hrsg.), *Human factors for assistance and automation* (S. 493–502). Maastricht, NEL: Shaker Publishing.

- Wang, Y.-S. & Hwang, S.-L. (1995). An experimental study on the information design of CRT display in process control systems. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15 (6), 459–469.
- Warm, J. S., Dember, W. N. & Hancock, P. A. (1996). Vigilance and workload in automated systems. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Hrsg.), *Automation and human performance: Theory and applications* (S. 183–200). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Wickens, C. (1994). Designing for situation awareness and trust in automation. In G. Johansson (Hrsg.), *Integrated Systems Engineering – A postprint volume of the IFAC Conference, 27-29 September, Baden-Baden* (S. 174–179). Oxford, UK: Pergamon Press.
- Wickens, C. D. (2002). Situation Awareness and Workload in Aviation. *Current Directions in Psychological Science*, 11 (4), 128–133.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (2000). *Engineering Psychology and human performance* (3. Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Li, H., Santamaria, A., Sebok, A. & Sarter, N. B. (2010). Stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54 (4), 389–393.
- Wiener, E. (1988). Cockpit automation. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Hrsg.), *Human factors in aviation* (Academic Press series in cognition and perception). San Diego, CA: Academic Press.
- Wiener, E. (1989). *Human factors of advanced technology ("Glass Cockpit") transport aircraft* (Technical Report No. NASA/CR-177528). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.
- Woods, D. D. (1984). Visual momentum: A concept to improve the cognitive coupling of person and computer. *International Journal of Man-Machine Studies*, 21 (3), 229–244.
- Woods, D. & Dekker, S. (2000). Anticipating the effects of technological change: A new era of dynamics for human factors. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1 (3), 272–282.
- Woods, D. D. & Hollnagel, E. (2006). *Joint cognitive systems. Patterns in cognitive systems engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Woods, D. D., Patterson, E. S. & Roth, E. M. (2002). Can we ever escape from data overload? A cognitive systems diagnosis. *Cognition, Technology & Work*, 4 (1), 22–36.
- Wright, M. C. & Kaber, D. B. (2005). Effects of automation of information-processing functions on teamwork. *Human Factors*, 47 (1), 50–66.
- Wright, P., Dearden, A. & Fields, B. O. (2000). Function allocation: A perspective from studies of work practice. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52 (2), 335–355.

Zijlstra, F.R.H. (1993). *Efficiency in work behaviour: A design approach for modern tools*. PhD thesis, Delft University of Technology.

Zijlstra, F.R.H. & van Doorn, L. (1985). *The construction of a scale to measure perceived effort*. Delft, NEL: Delft University of Technology, Department of Philosophy and Social Sciences.

Anlage

DANK

ERKLÄRUNG DER SELBSTÄNDIGEN ERARBEITUNG DER DISSERTATION

DANK

Mein großer Dank gilt Prof. Dr. Hartmut Wandke, der mir von Beginn an zur Seite stand, der mich für mein Thema begeistert und sich stets für jede meiner Fragen, für ein Feedback zu detailreichsten Arbeitsschritten, interessiert Zeit genommen hat. Eine erfüllendere, fachliche wie menschliche Betreuung, hätte ich mir nicht wünschen können.

Herrn Prof. Dr. Rötting danke ich sehr für die engagierte Zweitbetreuung, die er trotz einer hohen Arbeitsbelastung auf das Beste ermöglicht hat. Die wohlwollenden Diskussionen und Rückmeldungen zu Arbeitsständen im „Diss-Team“ waren stets eine Bereicherung für meine Arbeit.

Prof. Dr. Frank Flemisch danke ich ebenfalls sehr für seine Einwilligung, meine Arbeit zu begutachten. Seit dem Erstkontakt im Rahmen seines Vortrags für das Graduiertenkolleg prometei schätze ich ihn als besonders freundliche und interessierte Persönlichkeit. In seiner Art der Freude an der Wissenschaft und seiner Menschlichkeit ist er mir ein großes Vorbild.

Ich danke meinem Mann Jakob für seine unermüdliche Ruhe und seinen Humor, für seinen immer währenden Glauben an mich, für seine Geduld mit mir und ebenso seine Beharrlichkeit, mich aus so manchen vertieften Phasen in die Realität zurückzuholen.

Meinen drei Brüdern danke ich für ihre große Wärme, ihren Witz und ihre Verlässlichkeit, für ihre Gabe, mir Relationen aufzuzeigen und Dinge wieder ins rechte Licht zu rücken. Mit ihnen und Jakob bin ich in allen herausfordernden Abschnitten in dieser Zeit immer weich gefallen.

Meinen Eltern danke ich für ihre bedingungslose Liebe, für das sichere, familiäre Fundament, das sie uns Kindern mitgegeben haben. Für ihre Freude an den Dingen, die uns freuen, und für das Gefühl, jederzeit behütet zu sein.

Ich danke ganz besonders meinem Mentor, Chef und Freund Dr. Jens Nachtwei für den großen Anteil, den er menschlich und fachlich an dieser Arbeit hat. Dafür, dass er mich seit unserem ersten fachlichen Austausch für Wissenschaft begeistert hat und mir mit seiner Loyalität und Integrität ein wichtiger Ansprechpartner ist.

Im Rahmen meiner Forschungsarbeit im ATEO-Projekt an der Humboldt-Universität zu Berlin haben mich weitere Menschen in besonderer Weise unterstützt, denen ich im Folgenden danken möchte:

Christophe Blaison, für die Freundschaft

Prof. Dr. Klaus Bothe, für die vielen gelungenen Kooperationen

Prof. Dr. Hans-Dieter Burkhardt, für die immer herzliche und produktive Zusammenarbeit und die erleuchtenden Pausen im Café

Jochen Heyden, für die vielen, vielen Anekdoten und seine Fröhlichkeit

Prof. Dr. Annekatrin Hoppe für professionelle und ermutigende Begleitung

IQP bzw. all meinen Kollegen, für die erfüllenden Aufgaben und den unvergleichlich guten Teamgeist

Guido Kiecker, dafür, dass man sich auf die Begrüßung freut und für seinen gutherzigen und hilfsbereiten Charakter

Doreen Liebenow für den schönsten Brückenschlag zwischen Büro und Freundschaft

Prof. Dr. Dietrich Manzey, für seine warme und freundliche, fortwährende Unterstützung und für die stets konstruktiv bewältigten Meinungsverschiedenheiten

Nicolas Niestroj, für lehrreiche, gemeinsame Jahre und seine große Unterstützung im Labor

Knut Polkehn, für den begeisternden Start ins ATEO Projekt

Grit Scholz, für die Sonne, die jeden Tag im Sekretariat scheint

Eckhard Schulz, für die große Kompetenz in technischen Fragen und die kurzen, Tag-erhellenden Treffen vor der Tür

Martin Schneider, für sein großes Engagement im Q-Team und die gelungene Zusammenarbeit im KI-Projekt

Michael Sengpiel, für sein Lachen, sein Interesse und die gute Laune in der Küche

Melanie Stade, für nicht enden wollende Hilfsbereitschaft, Strukturiertheit und Zuverlässigkeit

Horst Unger, für die große Freundlichkeit und immer vorhandene Hilfsbereitschaft, auch bei außergewöhnlichen Anfragen

Achim Warning, für seine Mitfreude an vielen Dingen und seine Achtsamkeit

Sandra Widera für die Geduld und Freundlichkeit in allen Belangen

ERKLÄRUNG DER SELBSTÄNDIGEN ERARBEITUNG DER DISSERTATION

Ich versichere hiermit, dass ich die Dissertationsschrift mit dem Titel

„Effekte automatischer Unterstützung auf die
Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren
Theoretischer und empirischer Beitrag auf dem Weg zur kooperativen Automation“

in allen Teilen selbstständig verfasst und keine unerlaubten Hilfsmittel benutzt habe.
Die Stellen, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind,
habe ich in jedem einzelnen Fall durch Angabe der Quelle, auch der benutzten
Sekundärliteratur, als Entlehnung kenntlich gemacht.

Ich habe mich nicht anderwärts um einen Doktorgrad beworben und besitze noch
keinen Doktorgrad im Promotionsfach Psychologie. Die dem Verfahren zu Grunde
liegende Promotionsordnung ist mir bekannt.

Berlin, 31.01.2014

Charlotte von Bernstorff